جامعة حلب
كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية
قسم الهندسة الإلكترونية



تصميم نظام تحصيل معطيات بهدف تحليل وتطوير نظام ملاحقة كهروشمسي

دراسة أعدت لنيل إجازة الماجستير في الهندسة الإلكترونية

إعداد المهندس
حسام الدين عليطو

بإشراف
الدكتور
أحمد رجب بوشناق
أستاذ في قسم الهندسة الإلكترونية
كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية
جامعة حلب

2010

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

شهادة

أشهد أن العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح المهندس **حسام الدين عليطو** طالب الدراسات العليا في قسم الهندسة الإلكترونية بكلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بجامعة حلب، بإشراف الدكتور أحمد رجب بوشناق الأستاذ في قسم الهندسة الإلكترونية بكلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية بجامعة حلب وأن أية مراجع ذكرت في هذا العمل موثقة في نص الرسالة.

المرشح

المهندس حسام الدين عليطو

المشرف على الرسالة

الأستاذ الدكتور أحمد رجب بوشناق

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

تصريح

أصرح بأن العمل العلمي بعنوان:

(تصميم نظام تحصيل معطيات بهدف تحليل وتطوير نظام ملاحقة كهروشمسي)

لم يسبق أن قبل للحصول على أي شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على أي شهادة أخرى.

المهندس حسام الدين عليطو

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

جدول المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الكلمات المفتاحية والاختصارات	3
ملخص البحث	4
المقدمة	5
الفصل الأول: مخطط البحث وأهدافه	
1.1. مقدمة	8
1.2. أهمية البحث وأهدافه	8
1.3. مبررات البحث	9
1.4. تقنيات الملاحقة	9
1.5. التعريف بالبنية الفيزيائية للبحث	10
الفصل الثاني: نظرية الخلايا الشمسية	
2.1. مقدمة عن الخلايا الشمسية	13
2.2. تعريف الخلية الشمسية	13
2.3. بنية الخلية الشمسية ومبدأ عملها	14
2.4. الدارة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية	15
2.5. بارامترات الخلايا الشمسية	16
2.6. المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية	18
2.7. الطرق المستخدمة في زيادة كفاءة الخلايا الشمسية	18
الفصل الثالث: الدراسة التصميمية لنظام الملاحقة الكهروشمسي	
3.1. مقدمة عن أنظمة الملاحقة	21
3.2. وصف القسم الميكانيكي	22
3.2.1. أنواع الملاحقات الشمسية	22
3.2.2. اختيار الملاحق الشمسي	25
3.2.3. وصف الملاحق الذي تم تصميمه وتنفيذه عملياً	26
3.3. القسم الإلكتروني	28
3.3.1. اختيار الحساسات وموضعها	29
3.3.2. دارات الملائمة للحساسات	31

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3.3.3. دارة التحكم والقيادة 35
3.3.4. دارة تحصيل المعطيات 37
3.3.5. دارات التغذية الإلكترونية 39
3.4. خوارزمية الملاحقة 40
3.4.1. بارامترات خوارزمية الملاحقة 40
3.4.2. شرح دورة الملاحقة 43
3.4.3. آلية عمل خوارزمية الملاحقة 43

الفصل الرابع: قسم تحصيل المعطيات والبرامج

4.1. مقدمة 46
4.2. الأجزاء الأساسية لنظام تحصيل المعطيات 46
4.3. آلية عمل نظام تحصيل المعطيات 47
4.4. المعطيات المراد تحصيلها 47
4.5. المخطط التدفقي العام لسير برنامج تحصيل المعطيات 49
4.6. نقل البيانات إلى الحاسب 51
4.6.1. دارة ربط قارئة البطاقة الذاكريِّة مع الحاسب 51
4.6.2. بروتوكول التخاطب التسلسلي بين الحاسب والمتحكم المصغر 52
4.6.3. مبررات بروتوكول التخاطب التسلسلي 56
4.6.4. مبدأ عمل بروتوكول التخاطب التسلسلي 57
4.6.5. إمكانيات برنامج التخاطب بين الحاسب والمتحكم وواجهة التفاعل مع المستخدم 60
4.7. فوائد نظام تحصيل المعطيات في نظام الملاحقة 62

الفصل الخامس: عرض النتائج والمناقشة

5.1. مقدمة 64
5.2. المقادير المقاسة والمقادير المحسوبة 64
5.3. حساب الضياعات والمردود اليومي 67
5.4. عرض النتائج 67
5.5. مناقشة النتائج 78

التوصيات المستقبلية 80

الملاحق 81

المراجع 86

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الكلمات المفتاحيَّة والاختصارات المستخدمة في البحث
Key Words and Abbreviations

DAQ System: **D**ata **AQ**uisition System.
MPPT: **M**aximum **P**ower **P**oint **T**racking.
I_{SC}: Short **C**ircuit **C**urrent
V_{OC}: **O**pen **C**ircuit **V**oltage
V_{mp}:Maximum **P**oint **V**oltage
I_{mp}:Maximum **P**oint **C**urrent
MC:Micro**C**ontroller
UART: **U**niversal **A**synchronous **R**eceiver **T**ransmitter
SPI:Serial **P**eripheral **I**nterface
TWI: **T**wo **W**ire **I**nterface
ADC: Analog to **D**igital **C**onverter
RAM:Random **A**ccess **M**emory
EEPROM: Electrically **E**rasable **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory
RTC: **R**eal **T**ime **C**lock.
MMC: **M**ulti**M**edia **C**ard.
C#: **CS**harp Programming Language – Microsoft Company
GUI: **G**raphic **U**ser **I**nterface

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

ملخَّص البحث

نعرض في هذا العمل العلمي تصميم وتنفيذ نظـــام ملاحقـــة كهروشمســـي ميكـــانيكي متكامل بالإضافة إلى نظام تحصيل معطيات DAQ. هذا النظام ليس نظاماً إلكترونيـــاً يبحـــث عن نقطة العمل الأمثلية لنقل كامل استطاعة اللوح الشمسي إلى الحمل أي MPPT، وإنما هـــو نظام ميكانيكي فيزيائي يتحكم بتوجيه اللوح الشمسي باتجاه الإشعاع الشمسي الأعظمي، بحيث يستقبل اللوح الشمسي كامل الاستطاعة الشمسية دائماً وبالتالي الحصول على أعلـــى مـــردود تحويل إلى طاقة كهربائية.

يتكون هذا النظام من ملاحق شمسي من نوع ســـمت – ميـــل altitude – azimuth tracker يسمح بتحريك اللوح الشمسي وفق محورين أحدهما لمسح زاوية الســـمت (β) آليـــاً والآخر لمسح زاوية الميل (α) يدوياً، ومن محرك توجيه وفق زاوية السمت ومن دارات تحكم وقيادة لمحرك التوجيه، تقوم بتوجيه اللوح الشمسي وفق خوارزمية توجيه محددة. أمـــا نظـــام تحصيل المعطيات فيتكون من حساسات ودارات ملائمة لقياس المقادير الفيزيائية والكهربائيـــة مثل تيار وجهد اللوح الشمسي ودرجة الحرارة وزاوية الدوران وأيضاً يحوي علـــى ســـاعة الزمن الحقيقي RTC للحصول على معطيات الوقت والتاريخ، تُخَّزن جميع هـــذه المعطيـــات ضمن ذاكرة متنقلة MMC وفق ترتيب محدد على شكل أطر وبنى معطيات.

تم أيضاً تصميم دارة لقراءة المعطيات من ذاكرة المعطيـــات MMC وإرســـالها إلـــى الحاسب وفق بروتوكول تخاطب محدد بين الحاسب والمتحكم القارئ للذاكرة. تخزن البيانـــات في الحاسب على شكل ملفات منسَّقة ومنحنيات صوريِّة بواسطة برنامج تمـــت كتابتـــه بلغـــة <C#.Net>.

تم تنفيذ هذا النظام كاملاً (الملاحق الشمسي - الحساسات ودارات الملاءمة التابعة لها – دارة التحكم والقيادة - خوارزمية الملاحقة - دارة تحصيل المعطيات – دارة قراءة المعطيات مـــن MMC لنقلها إلى الحاسب – وبروتوكول التخاطب التسلسلي - برامج دارة التحكم وتحصـــيل المعطيات بلغة البرمجة C - برنامج الحاسب بلغة البرمجة C#.Net).

يعمل هذا النظام بنمطين نمط الملاحقة (يلاحق اللوح الإشعاع الشمســـي الأعظمـــي) والنمط الثابت (يوجه ويثبت اللوح بزاوية سمت وميل محددتين). لقد تم تشغيل المنظومة فـــي نمطي الملاحقة والثابت وتم أخذ النتائج العملية وكانت النتائج جيدة مقارنة مع الأنظمة المنفـــذة في هذا المجال.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

المقدمـــة

تُعدُّ طاقة الشمس المصدر الرئيسي للطاقة في كوكب الأرض بالإضافة إلى مصـــادر الطاقة الأخرى مثل طاقة الرياح والطاقة الحرارية في جوف الأرض والطاقة المولـــدة مـــن مساقط المياه وغيرها من مصادر الطاقة كالفحم الحجري والأخشاب، ونظراً للتطور الســـريع الذي حدث في نهاية القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين في مجال التكنولوجيا وراحة الإنسان فقد تزايد بالمقابل الحاجة إلى الطاقات وعلى وجه الخصوص الطاقة الكهربائية التـــي تلبي جميع حاجات الإنسان الماديِّة.

يعتمد حالياً توليد الطاقة الكهربائية على مصادر طاقة تقليدية متعـــددة وأهمهـــا الـــنفط وهذا المصدر قد أصبح منسوبه يتضاءل تدريجياً والمقدَّر أنه سينضب خلال السنوات القليلـــة القادمة، لذا بدأ توجَه العالم إلى مصادر أخرى للطاقة وهي ما يُعرَف بالطاقات المتجددة وعلى رأسها الطاقة الشمسية لتوليد الطاقة الكهربائية، حيث تُعدُّ هذه الطاقة مصدراً مستمراً مادامـــت الشمس، ومجانياً ونظيفاً وغير مُسيطر عليه من قبل البشر وإنما هو نعمة من الله لكل البشر.

بدأ البحث وبشكل مكثف في هذا المجال، فقد انخفضت تكلفة هذا المصدر أكثـــر مـــع ظهور التقنيات الحديثة في تصنيع الخلايا الشمسية، مثل الخلايا المصـــنوعة مـــن الســـيليكون بأنواعه المختلفة المتبلور وغير المتبلور وقد ظهر أنواعاً أخرى تضاهي الخلايا الســـيليكونية من ناحية المردود مثـــل الخلايـــا المصـــنوعة مـــن أوكســـيد التيتـــانيوم والخلايـــا متعـــددة الطبقات(المتصلات) Multi-junction Cells إلا أن كلفتها أعلى، والبحث لازال مستمراً فـــي هذا المضمار.

لاستثمار هذا المصدر بصورة أكثر فعاليِّة يجب تحقيق نظام شمسي يقوم بهذه المهمة، يتميز هذا النظام بتقليل ضياعات الطاقة الناجمة عن المبـــدلات المســـتخدمة فـــي المنظومـــة Inverters losses وضياعات تجميع الضوء Light gathering losses.

يعتمد تجميع الضوء على زاوية سقوط الضوء المزود للطاقة (الشمس) علـــى ســـطح اللوح الشمسي، حيث يتم الحصول على أعلى طاقة ضوئية وبالتالي كهربائية عنـــدما يســـقط الضوء بشكل عمودي على سطح اللوح الشمسي. فإذا ثُبِت اللـــوح الشمســـي علـــى مســـتوى الأرض ووجِّه بزاوية ثابته، فإن زاوية السقوط(الزاوية بين ناظم اللـــوح الشمســـي والأشـــعة الضوئية) سوف تتغير من [±90º] عند الشروق والغروب وتتناقص فـــي المواضـــع البينيـــة لتصبح صفرية [0º] في منتصف النهار، وهذا يعني بأن الطاقة الناتجة عـــن اللـــوح ســـتكون أصغريه عند طرفي النهار(الشروق والغروب) وتتزايد بالاقتراب من منتصف النهار لتصـــبح

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

أعظمية عند المنتصف حيث تسقط الأشعة عمودياً على سطح اللوح الشمسي، ونسمي النظـــام الذي يقوم بحل هذه المشكلة بنظام الملاحقة الشمسي الميكانيكي، حيث يقوم بملاحقـــة الشـــمس بحيث تبقى أشعة الشمس معامدة لسطح اللوح الشمسي، وهذا النظـــام هـــو موضـــوع بحثنـــا ولدراسة هذا النظام بصورة أكثر تفصيلاً تمت إضافة نظام تحصيل معطيات يُخزِّن معطيـــات اللوح الشمسي خلال دورة الملاحقة خلال ساعات النهار الشمسية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الأول

مخطط البحث وأهدافه

1.1. مقدمة 8

1.2. أهمية البحث وأهدافه 8

1.3. مبررات البحث 9

1.4. تقنيات الملاحقة 9

1.5. التعريف بالبنية الفيزيائية للبحث 10

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

.1.1 مقدمة:

تُعدُّ مسألة زيادة المردود في مجال الطاقة الشمسية من الضرورات الملحة نظراً لانخفاض مردود الخلايا الشمسية، وتكلفة النظام المعتمد على هذا المصدر من الطاقة مرتفع قليلاً أي غير اقتصادي، حيث يتراوح المردود الذي تحققه الخلايا الشمسية السيليكونية مابين (22% - 14%) حسب نوع السيليكون المستخدم في صناعتها. إن جميع الأبحاث الحالية في مجال الأنظمة الكهروشمسية تندرج تحت نطاقين اثنين، **الأول** يبحث في إمكانية تحسين المردود عن طريق العمل في بنية الخلية الشمسية أي في تكنولوجيا المواد الداخلة في تركيب الخلايا الشمسية، حيث تم التوصل إلى مواد نصف ناقلة مركبة Multi-Junction أعطت مردود تحويل عالٍ إلا أن كلفتها عالية لذلك لم تنتشر بعد والبحث لازال مستمراً في هذا النطاق. **الثاني** يبحث عن طرق مطورة للحصول على كامل استطاعة اللوح الشمسي أي تحقيق نقل كامل استطاعة اللوح الشمسي إلى الحمل عن طريق دارات وتصاميم مختلفة لملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية (MPPT) من ناحية، والحصول على كامل الاستطاعة الشمسية من خلال توجيه اللوح الشمسي بحيث يبقى دائماً مواجهاً للشمس مما يحقق أعلى مردود تحويل ممكن من ناحية أخرى، وهذه الأنظمة نسميها أنظمة الملاحقة الشمسية الميكانيكية المتحركة وهي موضوع بحثنا.

.1.2 أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من الحاجة الملحة إلى الطاقة الشمسية وخاصة بعد التنبؤ بنفاذ الوقود الأحفوري، لذا كان الاهتمام والبحث في هذا المصدر المجاني وإمكانياته ضرورة وأولوية ملحة نظراً لما يوفره من مقدار كبير من الطاقة خلال ساعات النهار.

يهدف هذا البحث إلى ما يلي:

1. بناء نظام ملاحقة كهروشمسي ميكانيكي يفيد في التحقق من المردود مقارنةً مع الأنظمة الثابتة وذلك بالاعتماد على نظام تحصيل معطيات يخزن معطيات نظام الملاحقة والنظام الثابت ضمن بطاقة ذاكرية MMC ولفترات طويلة من الزمن.
2. دراسة تغير استطاعة خرج اللوح الشمسي في النظام المتحرك والنظام الثابت خلال ساعات النهار وإجراء المقارنة بينهما من حيث المردود.
3. دراسة تأثير درجة الحرارة على استطاعة اللوح الشمسي.
4. دراسة تأثير الغبار على استطاعة اللوح الشمسي.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

5. تصميم دارة قارئة للبطاقة الذاكرية MMC المخزَّنة لبارامترات المنظومة.
6. بناء برنامج حاسوبي لقراءة معطيات المنظومة وتحليلها وتخزينها في ملفات معطيات.
7. بناء منظومة متكاملة تعمل بشكل مستقل عن الحاسب ولفترات طويلة من الزمن.

1.3. مبررات البحث:

من أجل الاستخدام الأمثل للطاقة الشمسية كمنبع طاقة بديل، من المفيد زيادة مردود هذا المنبع. إن المردود الوسطي الحالي للخلايا الشمسية السيليكونية كاف بشكل مناسب للأجهزة منخفضة الاستهلاك مثل الآلات الحاسبة ودمى الأطفال، أما من أجل التطبيقات التي تتطلب مقداراً أكبر من الطاقة يقتضي زيادة حجم الخلايا، وعملياً سيكون الحجم كبيراً جداً، وهذا يؤدي إلى تكلفة أكبر ومساحة أكبر.

بدلاً من زيادة حجم اللوح الشمسي من المفيد زيادة أداء الخلية الشمسية. يتعلق الأداء الكلي للخلية الشمسية بالعاملين الأساسيين التاليين:

1- مردود الخلية الشمسية.

2- شدة الإشعاع الشمسي الذي تستقبله الخلية الشمسية.

تُعدُّ المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية من أهم العوامل المحددة لمردود الخلية الشمسية، وهذا العامل يحتاج إلى دراسة خصائص المواد المتعلقة بمسألة التحويل وليس موضوع بحثنا لذلك سنبحث في مسألة كيفية معالجة زيادة المردود من خلال زيادة كمية الشدة الضوئية التي تستقبلها الخلية الشمسية.

هناك ثلاثة طرق يمكن تحقيقها لزيادة شدة الإشعاع المستقبل من قبل اللوح الشمسي:

- تركيز الأشعة الشمسية الساقطة على اللوح الشمسي بواسطة مركزات ضوئية.
- ملاحقة مسار الشمس بواسطة خوارزمية تحكم ثابته.
- ملاحقة مسار الشمس بواسطة نظام ملاحقة ديناميكي.

1.4. تقنيات الملاحقة الشمسية:

هناك العديد من تقنيات الملاحقة يمكن استخدامها لدى ملاحقة الأجسام المتحركة في السماء. التقنيات الأكثر شيوعاً المستخدمة في ملاحقة الأجسام المتحركة مثل الشمس [1] هي:

1- طريقة خوارزمية التحكم الثابته.

2- طريقة الملاحقة الديناميكية.

الفارق الأساسي بين هاتين التقنيتين هو في طريقة تحديد موضع الشمس. **بالنسبة لطريقة خوارزمية التحكم الثابته** يتم تحديد موضع الشمس بالعودة إلى بيانات الموضع

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

المرجعية(زاويتي السمت والميل) المحسوبة بالاعتماد على علاقات رياضية متحولاتها الوقت والتاريخ والمكان الحالي أو قاعدة بيانات المكان.

أما بالنسبة **لطريقة الملاحقة الديناميكية** فهي تعتمد على نظام تحكم ديناميكي يحدد موضع الشمس بشكل فعلي بالاعتماد على تحسس الشدة الأعظمية للإشعاع الشمسي بواسطة حساسات ضوئية، إذ إن معطيات هذه الطريقة هي الشدة الضوئية المأخوذة من حساسات القياس، فموضع الشدة الأعظمية للإشعاع عندئذٍ هو موضع الشمس الفعلي. هذه الطريقة هي أفضل من السابقة للأسباب التالية:

طريقة خوارزمية التحكم الثابته	طريقة الملاحقة الديناميكية
تثبيت قاعدة التوجيه والملاحقة بشكلٍ دقيق.	لا تحتاج إلى التثبيت بشكلٍ دقيق.
إدخال معطيات خارجية محددة لكل منطقة.	لا تحتاج إلى إدخال معطيات.
الخطأ الناتج عن حساب الإحداثيات تراكمي، بسبب الحصول على البيانات من علاقات رياضية.	تصحيح الأخطاء بشكل مباشر بسبب الحصول على البيانات من الشمس مباشرة بواسطة حساسات ضوئية.

1.5. التعريف بالبنية الفيزيائية للبحث:

إن الملاحق الشمسي الذي تم تصميمه وتنفيذه(القسم الميكانيكي) هو من نوع سمت – ميل altitude – azimuth tracker وهو سهل البناء وقليل الكلفة ويتيح الحركة باتجاهين، الأول وفق زاوية السمت(β) ويسمح بتدوير اللوح الشمسي بشكل أفقي من الشروق إلى الغروب، والثاني وفق زاوية الميل الشاقولية(α) وتسمح بالتحكم بمقدار ميل اللوح الشمسي نحو الأعلى والأسفل، تتغير هذه الزاوية فصلياً وبشكلٍ طفيف. هذا الملاحق مزود بمحرك توجيه واحد يحرك اللوح الشمسي وفق الزاوية(β) من الشروق إلى الغروب، في حين يكون التوجيه يدوياً وفق الزاوية(α) ولمرة واحدة فصلياً نظراً لبطئ تغير هذه الزاوية خلال أيام السنة.

يتحكم في عمل الملاحق الشمسي دارة تحكم إلكترونية تتكون بشكل أساسي من متحكم مصغر - ATMega16 من عائلة AVR – ومن دارة قيادة لمحرك التوجيه، يخزن المتحكم في ذاكرته خوارزمية الملاحقة التي تضبط توجيه اللوح الشمسي إلى مواضع الاستطاعة الأعظمية بمساعدة حساس ضوئي. وهناك أيضاً ثلاثة حساسات وهي حساس ضوئي وهو

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مرجع خوارزمية الملاحقة وحساس حراري لقياس درجة حرارة اللوح الشمسي وحساس زاوي لقياس زاوية دوران اللوح الشمسي.

يتضمن النظام أيضاً دارة تحصيل معطيات مزودة بذاكرة معطيات MMC تخزن معطيات اللوح الشمسي خلال ساعات النهار في مواضع الاستطاعة الأعظمية.

تتضمن دارة التحكم أيضاً لوحة مفاتيح وشاشة إظهار كريستالية LCD لضبط بارامترات عمل منظومة التحكم والملاحقة ونظام تحصيل المعطيات مثل وقت البداية والنهاية والفواصل الزمنية لعملية الملاحقة وبارامترات ذاكرة المعطيات. تتيح دارة التحكم إمكانية عمل الملاحق الشمسي في نمطين: نمط الملاحقة والنمط الثابت وبالوقت نفسه تخزن المعطيات في ذاكرة المعطيات في كلا حالتي نمط الملاحقة والنمط الثابت.

وتضمن النظام أيضاً دارة ملائمة لنقل المعطيات المخزنة في ذاكرة المعطيات MMC إلى الحاسب للتحليل والمقارنة، إضافة للبنية البرمجية التي تتضمن نقل المعطيات بين دارة الملائمة والحاسب.

ونشير هنا إلى أننا قمنا بتنفيذ هذه المنظومة بشكل كامل وتم التحقق منها واختبارها في **مدينة تل رفعت** التي تقع شمال محافظة حلب على بعد 35Km.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الثاني

نظرية الخلايا الشمسية

2.1. مقدمة عن الخلايا الشمسية 13
2.2. تعريف الخلية الشمسية 13
2.3. بنية الخلية الشمسية ومبدأ عملها 14
2.4. الدارة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية 15
2.5. بارامترات الخلايا الشمسية 16
2.6. المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية 18
2.7. الطرق المستخدمة في زيادة كفاءة الخلايا الشمسية 18

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

2.1. مقدمة:

بدأت صناعة الخلايا الشمسية في الخمسينيات وقد صنعت الخلية الأولى من السليكون ومنذ ذلك الوقت وحتى الآن أدخلت تعديلات عديدة في كيفية صناعة هذه الخلايا وكذلك تم توسيع قاعدة المواد التي تدخل في صناعة هذه الخلايا. لا زالت الأبحاث جارية في هذا المضمار وذلك لتخفيض تكلفة هذه الخلايا التي بقيت عالية حتى اليوم، ويتم حالياً البحث عن نماذج تنافس الخلايا السيليكونية مثل الخلايا المصنوعة من مركبات مثل: (كادميوم – سيلينيوم) وكبريتيد النحاس وكبريتيد كادميوم بهدف زيادة المردود.

تتميز الطاقة الشمسية بخواص فريدة تجعلها الأفضل بلا منازع بين جميع أنواع الطاقات الأخرى فهي:

1- طاقة هائلة يمكن توليدها واستخدامها في أي مكان.

2- تشكل مصدراً مجانياً للوقود الذي لا ينضب مقارنة مع المصادر الأخرى.

3- طاقة نظيفة لا تنتج أي نوع من أنواع التلوث البيئي.

وربما كان لهدوء الشمس الزائد دور كبير في إهمال الناس لها ونسيانها، إلا أن أزمة الطاقة الحالية والتهديدات المطروحة أمام الحضارة الحديثة في حال نضوب الوقود الأحفوري أعاد إلى الأذهان التفكير باستغلال الطاقة الشمسية، حيث نرى أن الأبحاث اليوم جادة لتطوير هذا المصدر الطاقوي ووضعه قيد الاستثمار الفعلي على نطاق واسع، إذ أن العالم الآن بدأ يدرك أهمية هذه الطاقة وإمكاناتها الكبيرة في حل أزمة الطاقة المتوقعة مستقبلاً.

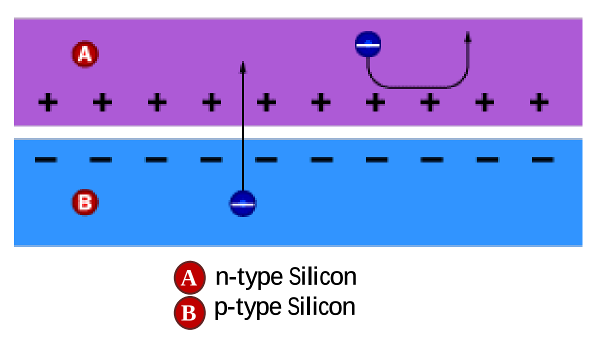
2.2. تعريف الخلية الشمسية:

الخلية الشمسية هي عبارة عن أداة إلكترونية مصنوعة من مادة نصف ناقلة تقوم بالتحويل المباشر لضوء الشمس الساقط عليها إلى طاقة كهربائية مكافئة عن طريق التفاعل المتبادل بين الفوتونات والإلكترونات ضمن مادة الخلية.

2.3. بنية الخلية الشمسية ومبدأ عملها:

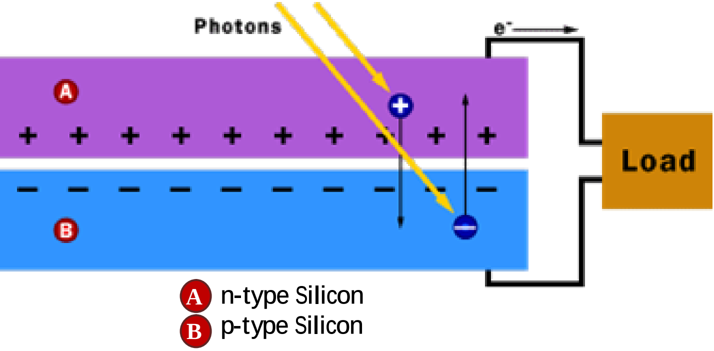
تتكون الخلية الشمسية [2] من التحام طبقتين رقيقتين من مادتين نصف ناقلتين إحداهما من النوع n (أي تحوي على إلكترونات أكثرية ضعيفة الارتباط بذراتها ويمكن تحريرها بسهولة) والأخرى من النوع p (أي تحوي على ثقوب أكثرية فقدت إلكتروناتها) كما هو مبين بالشكل(2-1).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(2-1) بنية الخلية الشمسية – الحالة التوازنية (بدون تسليط الضوء عليها)

يلاحظ في الشكل(2-1) تجمع شحنات موجبة وأخرى سالبة ثابتة على طرفي منطقة الاتصال مشكلةً حقلاً كهربائياً داخلياً يتجه من n إلى p أو حاجزاً كمونياً محدداً.



الشكل(2-2) مبدأ عمل الخلية الشمسية

يبين الشكل(2-2) آلية عمل الخلية الشمسية لدى تسليط الضوء عليها، حيث أن كل فوتون يملك طاقة كافية ($E_{photon} > E_g$) يمكن أن يحرر زوج من إلكترون- ثقب (HEP)، تتجرف الثقوب باتجاه المنطقة p وتتجمع فيها وتتجرف الإلكترونات باتجاه المنطقة n وتتجمع فيها وذلك تحت تأثير الحقل الكهربائي الداخلي مشكلة بذلك قوة محركة كهرضوئية E_Φ متناسبة مع كمية الفوتونات الساقطة على الخلية والفعَّالة وهي ما يدعى بالظاهرة الفوتوفلطائية.

في حال وجود حمل كهربائي Electrical Load فإن جزءاً من الإلكترونات سوف يسري عبر الحمل إلى المنطقة p ليعدل شحنة بعض الثقوب الموجودة فيها، تستمر هذه العملية طالما كان الضوء مسلطاً عليها وبذلك يكون قد تم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.

إن مردود التحويل للخلايا الشمسية منخفض ويعود ذلك لأسباب عدة:

1. عرض الحزمة الممنوعة E_g للمادة النصف ناقلة المصنوعة منها الخلية الشمسية.
2. استجابة الخلية لجزء محدود من فوتونات الطيف الشمسي.
3. الانعكاس والامتصاص غير الفعَّال.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

4. ارتفاع درجة حرارة الخلية الشمسية.

2.4. الدارة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية:

يمثل الشكل(2-3)-(A) الدارة الكهربائية المكافئة للخلية في حالة التيار المستمر[3] وتتكون من:

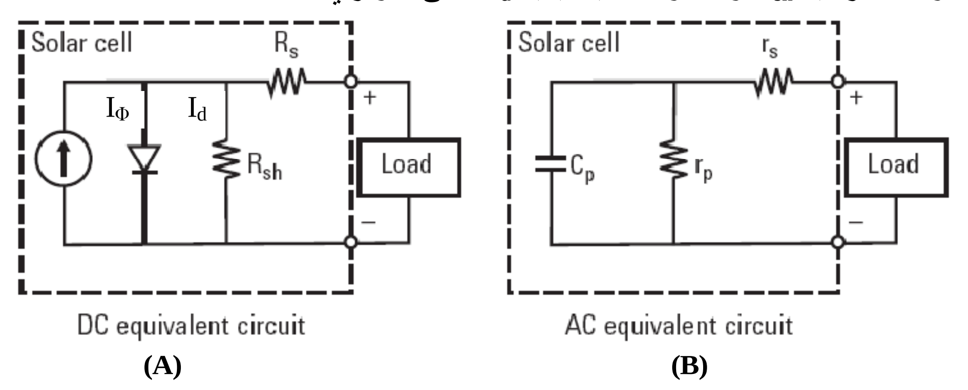
1- منبع تيار I_{Φ} يمثل التيار المار في الخلية عند تعريضها للإشعاع الشمسي Φ.

2- متصل الثنائي تشكله طبقتي السيليكون n, p.

3- مقاومة تسلسلية R_s ناتجة عن المادة النصف ناقلة والوصلات المعدنية لأطراف الخلية.

4- مقاومة تفرعية R_{sh} وتمثل تيارات إعادة الإتحاد وتيارات التسرب في الخلية.

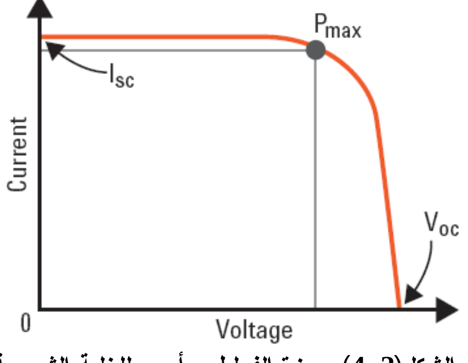
أما الشكل(2-3)-(B) فيمثل الدارة المكافئة في حالة التيار المتناوب [3] حيث يضاف السعة C_p وتمثل سعة العبور C_T وسعة التسرب C_d على التوازي والمقاومة التفرعية r_p وتمثل المقاومة التفرعية R_{sh} والمقاومة الديناميكية R_d على التوازي.



الشكل(2-3) الدارة الكهربائية المستمرة والمتناوبة المكافئة للخلية الشمسية

2.5. بارامترات الخلية الشمسية:

يبين الشكل(2-4) مميزة الفولط - أمبير للخلية الشمسية حيث تحتوي هذه المميزة على البارامترات الأساسية للخلية الشمسية:



الشكل(2-4) مميزة الفولط - أمبير للخلية الشمسية

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

§ **تيار الدارة القصيرة I_{sc}:**

$$I_{sc} = I(v_{cell} = 0) \qquad (1-2)$$

§ **جهد الدارة المفتوحة V_{oc}:**

$$V_{oc} = V(i_{cell} = 0) \qquad (2-2)$$

§ **الاستطاعة الأعظمية P_{max}:**

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp} \qquad (3-2)$$

حيث V_{mp}, I_{mp}: هما تيار وجهد نقطة الاستطاعة الأعظمية على التوالي.

وهناك بارامترات أخرى لاتقل أهمية وهي:

§ **مردود التحويل Efficiency Conversion:**

وهو نسبة الاستطاعة الكهربائية الأعظمية الناتجة عن الخليــة الشمســية P_{max} إلــى الاستطاعة الضوئية الساقطة على سطح الخلية الشمسية A:

$$h = \frac{P_{max}}{A \cdot E_e} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{A \cdot E_e} \qquad (4-2)$$

حيث η: مردود الخلية الشمسية.

E_e: معدل الإشعاع الشمسي ويقدر بواحدة $Watt/m^2$.

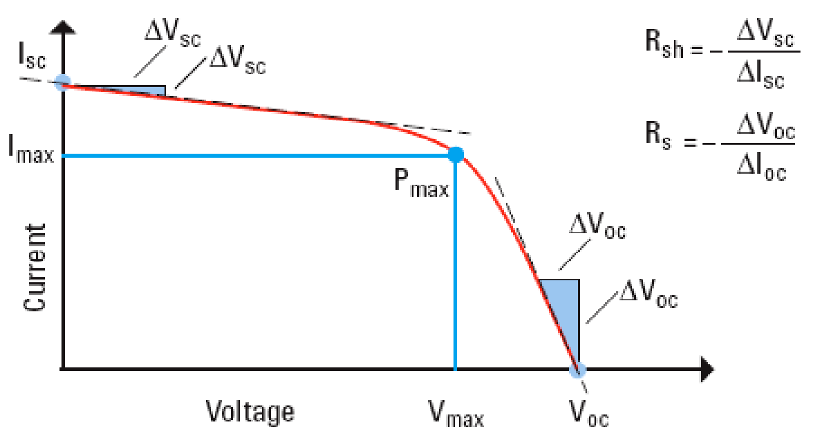
§ **عامل الملئ للخلية الشمسية Fill Factor:**

وهو نسبة الاستطاعة الأعظمية للخلية الشمسية إلى الاستطاعة الناتجة عن جداء جهــد الدارة المفتوحة بتيار الدارة القصيرة للخلية وقيمة هذا المعامل أصغر مــن الواحــد، ويعطــى بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{h \cdot A \cdot E_e}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \qquad (5-2)$$

§ **المقاومة التسلسلية R_s والمقاومة التفرعية R_{sh}:**

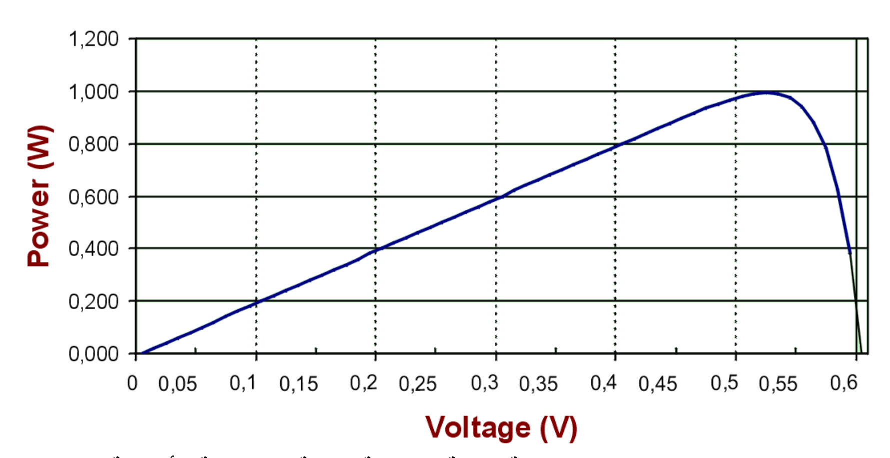
هناك عدة طرق لحساب المقاومة التسلسليّة والتفرعيّة للوح الشمسي، أبسطها طريقــة تعتمد على حساب ميل المميزة V-I كما هو مبين بالشكل(2-5).



الشكل(2-5) حساب المقاومة التسلسليّة والتفرعيّة للخلية الشمسيّة اعتماداً على المميزة V-I

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

يبين الشكل(2-8) علاقة الاستطاعة مع الجهد للخلية الشمسية حيث تتعلق نقطة الاستطاعة الأعظمية للخلية الشمسية بعدة أمور مثل: بنية الخلية الشمسية، بارامترات الخلية الشمسية V_{oc}, I_{sc}, FF ودرجة حرارة الخلية.



الشكل(2-8) منحني الاستطاعة للخلية الشمسية ونقطة الاستطاعة الأعظمية

يبين الجدول التالي البارامترات الكهربائيّة والزمنيّة للخليّة الشمسيّة:

IV measurement		
Symbol	Parameter Name	Unit
I_{sc}	Short circuit current	A
J_{sc}	Short circuit current density	A/cm²
V_{oc}	Open circuit voltage	V
P_{max}	Maximum power point	W
I_{max}	Current at maximum power point	A
V_{max}	Voltage at maximum power point	V
FF	Fill factor	—
η	Conversion efficiency	%
R_{sh}	Shunt resistance	Ω
R_s	Series resistance	Ω

Capacitance measurement		
Symbol	Parameter Name	Unit
C_p	Parallel capacitance	F
N_t	Carrier density	cm^{-3}
N_{dl}	Drive-level density	cm^{-3}

Time domain measurement		
Symbol	Parameter Name	Unit
τ	Minority carrier lifetime	s
S	Surface recombination velocity	cm/s
L_d	Minority carrier diffusion length	m

الجدول(2-1) بارامترات الخليّة الشمسيّة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

2.6. المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية:

هناك العديد من المواد النصف الناقلة مستخدمة في صناعة الخلايا الشمسية وأهم هذه المواد هو السيليكون كونه متوفر بشكل كبير وقليل التكلفة وله عدة أشكال: السيليكون وحيد التبلور(Single-crystal Si) وهو الأكثر فعالية والأعلى كلفة، والسيليكون متعدد التبلور(Polycrystalline Si) وهو أقل كلفة وفعالية من السابق، والسيلكون عديم التبلور(Amorphous Si) وهو أقل كلفة وفعالية من النوعين السابقين ويتراوح مردود الخلايا المصنوعة منه (6% – 4%)، وهناك أيضاً مواد أخرى مستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية مثل زرنيخ الغاليوم(Gallium Arsenide) ونحاس الأنديوم والسيلينيوم (Copper Indium Diselenide) وتليريوم الكادميوم(Cadmium Telluride) وأكسيد التيتانيوم (Titanium Dioxide). بما أن هذه المواد تتكون من مواد مختلفة أي مركبة فهي تملك عرض حزم مختلفة وبالتالي يمكن أن تحول الطاقة الضوئية بأطوال موجية مختلفة أي بفوتونات ذات طاقات مختلفة، هذه المواد أكثر فعالية من السيليكون إلا أنها أعلى كلفة وهذا سبب عدم انتشارها. الخلايا ذات المردود الأعلى من جميع الخلايا المذكورة سابقاً هي الخلايا متعددة المتصلات(Multi-junction Cells) حيث تصنع هذه الخلايا من عدة مواد نصف ناقلة لكل منها عرض حزمة محدد ويحول جزء من الطيف الضوئي إلى طاقة كهربائية بحيث يستفاد من عرض حزمة أكبر من الطيف الضوئي وبالتالي تحقيق مردود تحويل أكبر.

2.7. الطرق المستخدمة في زيادة مردود الخلايا الشمسية:

إن اغلب بحوث الطاقة الشمسية تهدف إلى زيادة كفاءة تحويل الخلية الشمسية (أي مقدار ما يتحول من طاقة شمسية إلى كهربائية) وهذا يتم بعدة طرق [4] هي:

<u>أولاً:</u> تحسين بارامترات(Parameters) الخلية الشمسية أثناء مرحلة التصنيع (بمعنى محاولة زيادة الطاقة العظمى المتمثلة بجهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة).

<u>ثانياً:</u> استخدام المركزات الشمسية Using Solar Concentrators:

في هذه الطريقة يتم توجيه الأشعة الشمسية باتجاه الخلايا الشمسية بواسطة عناصر بصرية مثل المرايا العاكسة. والعدسات المركزة للأشعة الشمسية.

<u>ثالثاً:</u> استخدام أنظمة الملاحقة الميكانيكية Using Solar Tracking System:

وهي عبارة عن أنظمة توجيه تتبع الشمس طوال فترة النهار وذلك للحفاظ على زاوية سقوط عمودية لأشعة الشمس على سطح الخلايا الشمسية. تبدأ الملاحقات(المتابعات) بالعمل مع شروق الشمس وتدور مع الشمس طوال فترة النهار، أما في الليل فإنها تتوقف عن الحركة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

منتظرةً شروق شمسٍ جديد. تتكون الملاحقات الشمسية عادةً من قاعـــدة ميكانيكيـــة متحركـــة حاملة للوح الشمسي ومحركات توجيه ونظام تحكم وقيادة وأيضاً من حساسات ضوئية التـــي تمثل مرجع نظام التحكم حين البحث عن موضع الشمس أو قاعدة بيانات الموقع.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الثالث

الدراسة التصميّمية لنظام الملاحقة الكهروشمسي

3.1. مقدمة عن أنظمة الملاحقة 21

3.2. وصف القسم الميكانيكي 22

3.2.1. أنواع الملاحقات الشمسية 22

3.2.2. اختيار الملاحق الشمسي 25

3.2.3. وصف الملاحق الذي تم تصميمه وتنفيذه عملياً 26

3.3. القسم الإلكتروني 28

3.3.1. اختيار الحساسات وموضعها 29

3.3.2. حساسات القياس ودارات الملاءمة 31

3.3.3. دارة التحكم والقيادة 35

3.3.4. دارة تحصيل المعطيات 38

3.3.5. دارات التغذية الإلكترونية 39

3.4. خوارزمية الملاحقة 40

3.4.1. بارامترات خوارزمية الملاحقة 40

3.4.2. شرح دورة الملاحقة 43

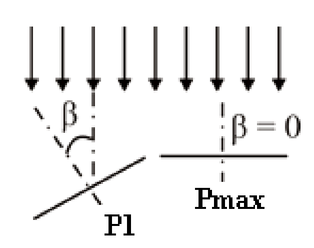
3.4.3. آلية عمل خوارزمية الملاحقة 43

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3.1. مقدمة عن أنظمة الملاحقة:

تُعدُّ مسألة زيادة المردود في مجال الطاقة الشمسية من الضـــرورات الملحـــة نظـــراً لانخفاض مردود الخلايا الشمسية والكلفة المرتفعة للنظام المعتمد على هذا المصدر.

إن إحدى الطرق المستخدمة في زيادة مردود الألواح الشمسية هي أنظمـــة الملاحقـــة الشمسية، **فالملاحق الشمسي** هو عبارة عن جهاز يعمل على توجيه اللوح الشمســـي باتجـــاه الإشعاع الأعظمي للشمس بحيث يبقى دائماً معامداً للأشعة الشمسية طوال ساعات النهـــار أو يعمل على تصغير زاوية السقوط الضوئية β (الزاوية بين الأشعة الضـــوئية ونـــاظم اللـــوح الشمسي الشكل(3-1))، بهدف زيادة مقدار الطاقة الشمسية الملتقطة بواسطة اللوح الشمســـي، وبالتالي زيادة مقدار الطاقة الكهربائية الناتجة في خرج اللوح الشمسي.



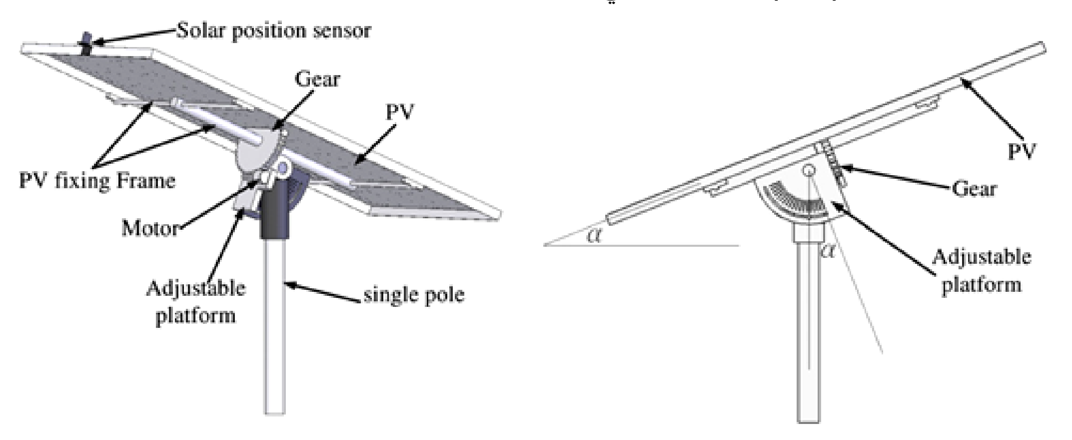
الشكل(3-1) يوضح تأثير زاوية السقوط الضوئية β على مردود اللوح الشمسي

عندما تسقط الأشعة بشكل عمودي على سطح اللوح الشمسي فإن: $b = 0^{\circ} \Rightarrow P = P_{\max}$

وعندما تسقط الأشعة بشكل مائل على سطح اللوح الشمسي فإن: $b \neq 0 \Rightarrow P1 = P_{\max} \cdot \cos(b)$

سندرس في هذا الفصل نظام الملاحقة الذي قمنا بتصميمه ونتعـــرَّف علـــى مكوناتـــه الصلبة (البنية الميكانيكية، دارات التحكم والقيادة وتحصيل المعطيات) دون التطرق إلى العتـــاد المرن Software.

يبين الشكل(3-2) ملاحق شمسي ومكوناته الأساسية.



الشكل(3-2) الملاحق الشمسي ومكوناته الأساسية

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3.2. القسم الميكانيكي للملاحق الشمسي ومكوناته:

تتكون الملاحقات الشمسية بشكل عام من الأجزاء التالية:

1- محاور توجيه.
2- القاعدة الحاملة للوح الشمسي.
3- محركات توجيه.
4- مساند وحوامل.

3.2.1. أنواع الملاحقات الشمسيّة Types of Solar Trackers:

يمكن تصنيف الملاحقات الشمسية إلى ملاحقات فعَّالة وغير فعَّالة Passive & Active Trackers من حيث القيادة وإلى ملاحقات ذات محور وحيد و ذات محورين Single & Dual Axis Trackers من حيث التوجيه [5]. تتكون الملاحقات الشمسية ذات المحور الوحيد عادةً من حامل توجيه قطبي لتوجيه اللوح الشمسي قطبياً لزيادة المردود، أما زاوية الميل(الرفع) Elevation-Angle فيتم ضبطها يدوياً خلال فترات محددة ومنتظمة من السنة. يحقق هذا النوع من الملاحقات زيادة في المردود حوالي 30% تقريباً مقارنة مع النظام الشمسي الثابت(بدون ملاحقة) أما الملاحقات ذات المحورين فتحقق زيادة إضافية في المردود بحدود 6% فوق المردود الذي تحققه الملاحقات أحادية المحور. هناك نوعان من الملاحقات الشمسية ذات المحورين:

- الملاحقات القطبية Polar Trackers.
- الملاحقات سمت- رفع Altitude – Azimuth Trackers.

3.2.1.1. أنواع الملاحقات الشمسية حسب محاور التوجيه:

1- الملاحقات القطبيّة Polar Trackers:

تتكون الملاحقات القطبية من محور واحد يُضبط(يُوجّه) بحيث يكون موازٍ لمحور دوران الأرض الواصل بين قطبيها الشمالي والجنوبي، وهذا هو سبب التسمية. يصنع المحور القطبي زاوية مع الشمال، والزاوية بين هذا المحور والشاقول تساوي إلى زاوية خط العرض[5]. يمكن أن تتضمن هذه الملاحقات إمكانية لضبط زاوية الميلان Declination Angle بما يتوافق مع زاوية ميل الشمس بالنسبة للأرض والتي تتغير على مدار السنة، ويمكن ضبط هذه الزاوية يدوياً أو آلياً اعتماداً على جهاز الملاحقة، وفي حالة عدم توفر إمكانية لضبط هذه الزاوية فإنها تضبط على زاوية صفرية بشكل دائم. إن الهدف من ضبط زاوية الميل للملاحق الشمسي هو تعويض زاوية الانزياح(الميلان) شمالاً وجنوباً لمسار الشمس في السماء خلال فصول السنة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

لدى استخدام الطريقة اليدويّة لضبط زاوية الميل ينبغي أن تتم مرتين على الأقل في السنة، مرة عند **الاعتدال الخريفي** لتحديد الوضع الأمثل لفصل الشتاء، ومرة في **الاعتدال الربيعي** لتحقيق الوضع الأمثل لفصل الصيف. تكون زاوية الميل عند الاعتدال الربيعي صفرية وتزداد إلى (22.5º) في الصيف ثم تتراجع إلى الصفر عند الاعتدال الخريفي وتستمر في التراجع إلى (22.5º-) في الشتاء. فعلى سبيل المثال يمكن ضبط زاوية الميل عند الدرجة (15º أو 20º) كوضع أمثلي في أشهر الصيف.

يمكن عدّ مثل هذه الأجهزة بأجهزة ملاحقة ذات محور واحد لأن عملية التوجيه تتم وفق محور واحد خلال ساعات النهار وهذا يقلل من كلفة النظام ويتيح استخدام طرق ملاحقة أبسط.

2- الملاحقات ذات المحور الأفقي Horizontal Axel Trackers:

تتكون هذه الملاحقات من أنبوب أفقي مثبت على مساند مركبة على أبراج أو إطارات، يوضع محور الأنبوب باتجاه شمال – جنوب وتركب عليه الألواح الشمسية وتتم عملية الملاحقة بدوران هذا الأنبوب حول محوره ملاحقاً بذلك الحركة الظاهرية للشمس خلال النهار. بما أن هذه الملاحقات لا تميل باتجاه خط الاستواء فهي غير فعَّالة(مردودها منخفض) وخاصةً في منتصف النهار في فصل الشتاء(إلا إذا وضعت بالقرب من خط الاستواء) لكنها تزيد المردود بشكلٍ معتبر خلال فصلي الربيع والصيف حيث يكون مسار الشمس عالياً في السماء وتنخفض فعالية هذه الأجهزة في المناطق البعيدة من خط الاستواء.

تتميز هذه الملاحقات ببنيتها القوية وبساطة آلية عملها بالإضافة إلى إمكانية توضع الألواح بشكل أفقي متقارب على الأنبوب دون الوقوع في مشكلة التظليل وهذا التوضّع يسهِّل عملية تنظيف الألواح الشمسية.

تُصنَّع هذه الملاحقات بحيث يركب عليها مصفوفة من الألواح الشمسية تحرك جميعها في آن واحد مما يوفر كلفة استخدام أكثر من مجموعة تحريك وإن أهم الشركات المصنِّعة لهذه الملاحقات هي شركة واتسن WattSun وشركة زوموورك Zomework وشركة بورلايت PowerLight.

3- الملاحقات ذات المحور الشاقولي Vertical Axle Trackers:

يمكن بناء الملاحقات الشمسية بمحور واحد بحيث تدور حول محور شاقولي فقط، تتوضع الألواح بشكل شاقولي أو ثابت أو قابلة للضبط أو خاضعة لنظام ملاحقة وفق زاوية الميل. الملاحقات ذات الزوايا القابلة للضبط (فصلياً) أو الثابته مناسبة للمناطق البعيدة عن خط الاستواء نظراً لعدم ارتفاع مسار الشمس الظاهري حيث تتحرك الشمس على مسار دائري

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

بزاوية كبيرة وبالتالي نهار شمسي طويل. استُخدِمَت هذه الطريقة في بناء المنزل الأسطواني في أستراليا (عند خط عرض 45^o شمالاً)، حيث يدور الملاحق بشكل كامل ليلاحق الشمس وذلك بألواح شاقولية مرتكزة على طرف واحد للبناء.

4- الملاحقات سمت – ميل Altitude-azimuth Trackers:

هذا النوع من الملاحقات يدعم وزن الملاحق الشمسي ويسمح له بالحركة في اتجاهين لتحديد الهدف(موضع الشمس) تماماً. تتكون هذه الملاحقات من محوري توجيه أحدهما يكون أفقياً ويدعى محور الميل أو الرفع ويسمح للملاحق بالتحرك للأعلى أو الأسفل والمحور الآخر شاقولي ويدعى محور السمت ويسمح للملاحق بالدوران حول دائرة موازية للأرض. فهذه الآلية تبسِّط عملية تحديد موضع الهدف(الشمس) فهي تجعل الملاحق يدور بشكل دائري وفق زاوية السمت ومن ثم يضبط زاوية الميل للتوجه نحو الهدف، وبما أن كلاً من الأرض والشمس متحرك فإن توجيه الملاحق إلى الهدف يصبح أكثر تعقيداً ويلزم لذلك حاسب أو نظام تحكم مؤتمت.

5- الحامل(الحاضن) ذو المحورين Two-axis mount:

هذا الحامل مخصص للملاحقات ذات القيادة الفعالة، وهو شائع الاستخدام مثل الحامل التلسكوبي نظراً لبساطته وبنيته المحكمة.

يتكون هذا النوع من محور شاقولي يدور على مسند حلقي أفقي يسمح للملاحق بالاهتزاز حول مواضع البوصلة(Compass Points) ومن محور أفقي أو محور سمت ويسمح للملاحق بالتحكم بزاوية الميل الشاقولية. إن بنية الملاحق هذه تعطي إمكانية مسح جميع المواضع المحددة له نظراً لتحركه باتجاهين وفق قوس أفقي ووفق الاتجاه الشاقولي. مثل هذه الأنظمة تحتاج إلى حاسب يتحكم في توجيهها إلى الموضع الشمسي أو باستخدام حساسات تتحكم في قيادة محركات توجه الألواح باتجاه الشمس. يستخدم هذا النوع في توجيه العاكسات القطعية(المستقبلات والمرسلات الرادارية)

6- العاكسات الشمسية متعددة المرايا Multi-mirror reflective units:

تستخدم هذه الأجهزة مرايا متعددة تُوضع وفق الاتجاه الأفقي لعكس ضوء الشمس باتجاه الألواح الشمسية أو باتجاه أي نظام آخر يحتاج إلى طاقة شمسية قوية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3.2.1.2. أنواع الملاحقات الشمسية حسب القيادة Drive types for Trackers:

هناك نوعان من الملاحقات الشمسية من حيث القيادة وهما الملاحقات الفعالة والملاحقات غير الفعالة.

1- الملاحقات الفعالة Active Trackers:

تتكون هذه الملاحقات من محركات توجيه Motors ونظام نقل حركة gear trains ونظام تحكم وقيادة Driving & Control System يتحكم بقيادة محركات التوجيه لتوجيه اللوح الشمسي باتجاه الشمس ومن حساسات ضوئية كعناصر توجيه. بما أن محركات التوجيه تستهلك طاقة كهربائية مستمرة فيُلجأ إلى التحريك المتقطع Discrete Steps بدلاً من التحريك المستمر Continuous لتقليل استهلاك الطاقة اللازمة للتحريك من ناحية ولعدم تغير موضع الشمس بشكل سريع من ناحية أخرى، ونشير إلى أن هذه الإجراءات تُتَخَذْ لدى اختيار هذا النوع من الملاحقات.

2- الملاحقات غير الفعالة Passive Trackers:

تتكون هذه الملاحقات من أنبوبتين أسطوانيتين متماثلتين تحوي كل منهما على سائل غازي مضغوط إلى ما دون نقطة الغليان، تحصل حالة عدم التوازن لهاتين الأسطوانتين نتيجة للتسخين الشمسي على إحداهما أكثر من الأخرى مما يؤدي إلى سريان السائل من إحداهما إلى الأخرى محركاً بذلك الملاحق الشمسي باتجاه الشمس وبهذه الطريقة تتم عملية التوجيه. هذه الطريقة في التوجيه ليست دقيقة وهي غير مناسبة لبعض الأنواع من المجمعات الشمسية لكنها تعمل كموجهات جيدة للألواح الشمسية، تحتوي هذه الأجهزة أيضاً على مخمدات لزجة لمنع الحركة الزائدة الناتجة عن تأثير الرياح، وتُستَخدم أيضاً عاكسات لعكس ضوء الشمس باتجاه الألواح الشمسية لإيقاظها وإمالتها باتجاه الشمس، وهذه العملية تستغرق حوالي الساعة تقريباً ويمكن إنقاص فترة هذه العملية باستخدام موازِنات(أحمال متصلة بحبال) في فترتي الصباح والمساء. الملاحق الشمسي زوموورك Zomework ينتمي إلى هذا النوع من الملاحقات.

3.2.2. اختيار الملاحق الشمسي Selecting of Solar Tracker:

بعد أن تعرّفنا على أنواع الملاحقات الشمسية وبنيتها وآلية عملها، وقع الاختيار على الملاحق الشمسي سمت – ميل نظراً لما يتمتع به من إمكانية الدوران أفقياً على قوس موازٍ لمسار الشمس وأيضاً من إمكانية التحكم بميله شاقولياً ماسحاً بذلك جميع مواضع تحرك الشمس، وتم الاقتصار على تحريك اللوح آلياً وفق زاوية السمت باستخدام محرك واحد فقط، والتحكم بإمالته يدوياً نظراً لتغير هذه الزاوية فصلياً كما أسلفنا سابقاً.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3.2.3. وصف الملاحق الشمسي(سمت-ميل) الذي تم تنفيذه عملياً:

Description of Solar Tracker that has practically been implemented

يتكون القسم الميكانيكي لنظام الملاحقة الكهروشمسي من الأجزاء التالية:

1- قاعدة التحريك الميكانيكية الحاملة للوح الشمسي.

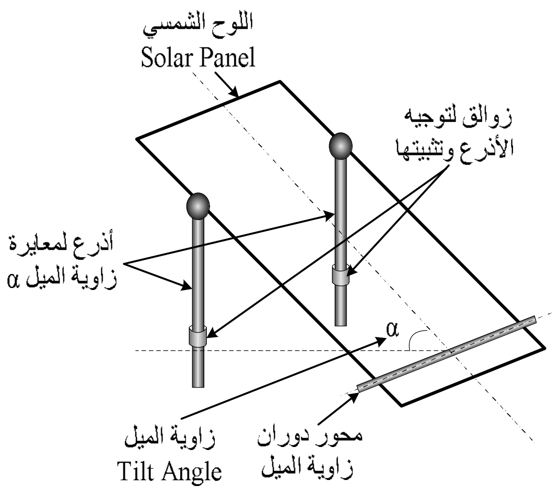
2- محرك توجيه اللوح الشمسي

1- قاعدة التحريك الميكانيكية الحاملة للوح الشمسي:

وهي القاعدة الحاملة للوح الشمسي وتسمح بتحريك اللوح باتجاهين، الاتجاه الأفقي ويتبع لزاوية السمت Azimuth Angle والاتجاه الشاقولي ويتبع لزاوية الميل Tilt Angle وهذا النوع من الملاحقات يسمى بالملاحق الشمسي سمت – ميل altitude- azimuth tracker.

- **التحكم بزاوية الميل الشاقولية للوح الشمسي Tilt Angle Control:**

يتم التحكم بهذه الزاوية من خلال تدوير اللوح الشمسي حول محور دوران أفقي مثبت على أحد نهايتيه، بشكل شاقولي (للأعلى والأسفل) عن طريق ذراع قابل للتطويل والتقصير مثبت في النهاية الثانية للإطار وفق الشكل(3-4).



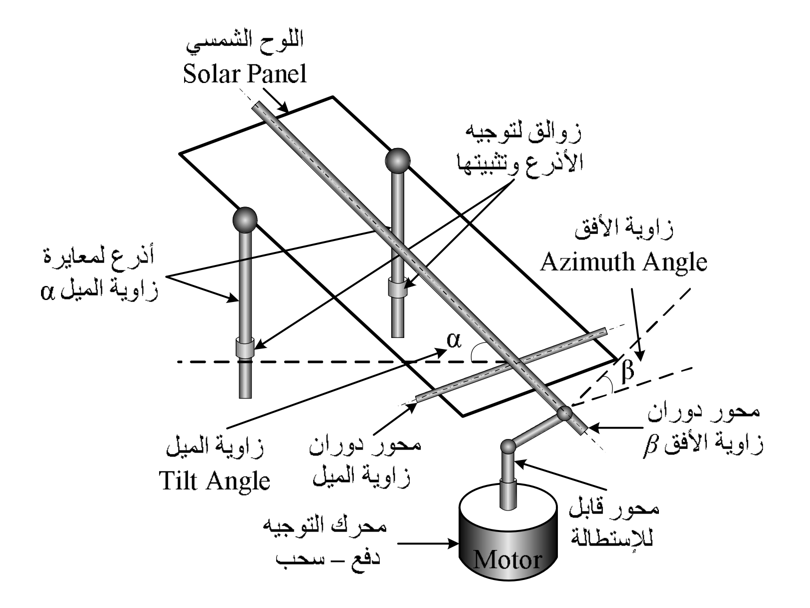
الشكل(3-4) آلية تحريك اللوح وفق زاوية الميل α

- **التحكم بزاوية السمت الأفقية للوح الشمسي Azimuth Angle Control:**

يتم التحكم بهذه الزاوية من خلال تدوير اللوح الشمسي حول محور دوران واقع على محور تناظر اللوح الطولاني ومعامد لمحور الدوران السابق، يتم تدوير اللوح وفق هذا المحور آلياً عن طريق محرك (دفع - سحب) يتلقى الأوامر من دارة التحكم والقيادة.

يبين الشكل (3-5) آلية التحكم بزاوية السمت الأفقية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(3-5) آلية تحريك اللوح وفق زاوية السمت β

يتم ضبط زاوية الميل (α) مرة واحدة كل فصل من السنة، نظراً لبطئ تغير زاوية ميل الشمس بالنسبة للأرض في كل فصل، يتم تثبيت هذه الزاوية خلال الفصل لأن تغيرات استطاعة اللوح الشمسي بالنسبة لهذه الزاوية خلال الفصل طفيفة ولا حاجة لتغييرها خلاله. أما زاوية الدوران الأفقية (β) فتتغير خلال ساعات النهار من الشروق حتى الغروب من قيمتها الصغرى إلى قيمتها العظمى وذلك بسبب دوران الأرض حول نفسها وتغير موضع الشمس بالنسبة للأرض خلال ساعات النهار لذلك تتم عملية الملاحقة وفق هذا المحور فقط بشكلٍ آلي عن طريق دارة التحكم ومحرك التوجيه وخلال فواصل زمنية محددة، بحيث تبقى دائماً أشعة الشمس معامدة للوح الشمسي للحصول على أعظم استطاعة شمسية وبالتالي تحقيق أعلى مردود تحويل.

2- محرك توجيه اللوح الشمسي The Orientation Motor:

يُستخدم هذا المحرك لتحريك اللوح الشمسي وفق زاوية السمت β، وهو محرك مستمر DC (دفع – سحب)، ويتكون من محرك مستمر DC عادي باستطاعة (3W) ومن علبة سرعة تخفِّض سرعة الدوران بمقدار (16) مرة تقريباً وتحوِّل الحركة الدورانيَّة إلى حركة مستقيمة، ومن محور للدفع بطول أعظمي (10Cm)، تبلغ قوة الدفع الأعظمية لهذا المحرك حوالي (40Kg) تقريباً أي يمكن أن يحرك لوحاً شمسياً بوزن (40Kg).

يبين الشكل(3-6) المحرك الذي تم استخدامه في المنظومة.

لم نستخدم المحرك الخطوي لأنه غير متوفر كدافع – جاذب واستعضنا عنه بالمحرك DC.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(3-6) محرك توجيه اللوح الشمسي

فيما يلي صورة الملاحق الشمسي الذي تم تنفيذه عملياً ومكوناته الأساسية:



الشكل(3-7) الملاحق الشمسي(سمت – ميل) الذي تم تنفيذه عملياً

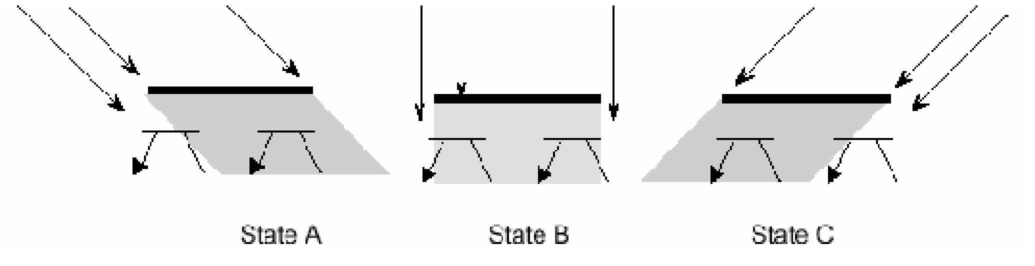
3.3. القسم الإلكتروني للملاحق الشمسي:

3.3.1. اختيار الحساسات وموضعها:

هناك طرق مختلفة لاختيار الحساسات ومكانها لملاحقة الشمس وإحدى أبسط هذه الطرق هي استخدام المقاومة الضوئية LDR كحساس لتغيرات الشدة الضوئية المطبقة عليها.

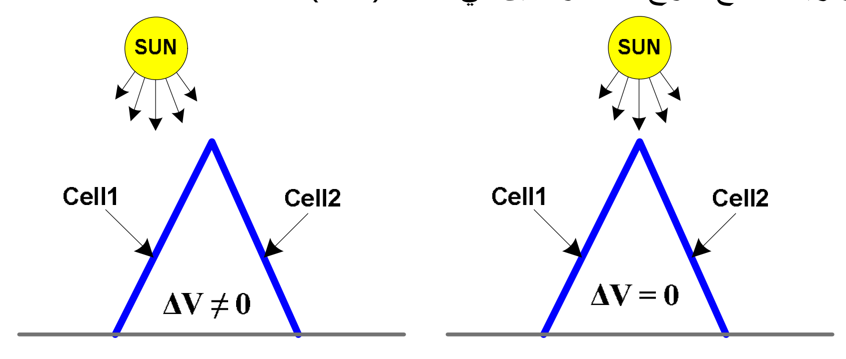
All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

هناك طريقة ثانية اكتُشِفت من قبل (جيف- دام) [6] فحواهـا هـو اسـتخدام ترانزسـتوران ضوئيان يُحجبان عن ضوء الشمس بواسطة صفيحة صغيرة كما هو مبين بالشكل(3-8)



الشكل(3-8) طريقة ملاحقة الشمس بطريقة جيف- دام

في الصباح وعند الشروق تحصل الحالة A يكون الترانزيستور الضوئي الأيسر فـي حالة التشغيل ON مشغلاً محرك التوجيه ليحرك اللوح الشمسي بالاتجـاه الصـحيح بحيـث تحجب الصفيحة الضوء عن كلا الترانزستورين والوصول إلى الحالة B والوقـوف عنـدها، وفي حال حصول الحالة C فإن الترانزيستور الأيمن سوف يكون فـي حالـة التشـغيل ON مشغلاً بذلك محرك التوجيه لتدوير اللوح بالاتجاه المعاكس للحالة A بشـكل مسـتمر حتـى الوصول إلى الحالة B وهكذا تتم عملية الملاحقة في كل مرة. إن سلبية هذه الطريقة هي عـدم قدرتها على تمييز التغيرات الصغيرة لموضع الشمس. هناك طريقة ثالثـة باسـتخدام الخليـة الشمسية كحساس توجيه حيث تشكل آلية جيدة للتحسس للشدة الضوئية حيث توضـع خليتـان شمسيتان متماثلتان على ضلعي مثلث يوضع هذا المثلث على اللوح الشمسـي بحيـث تكـون قاعدته موازية لسطح اللوح كما هو مبين في الشكل(3-9).



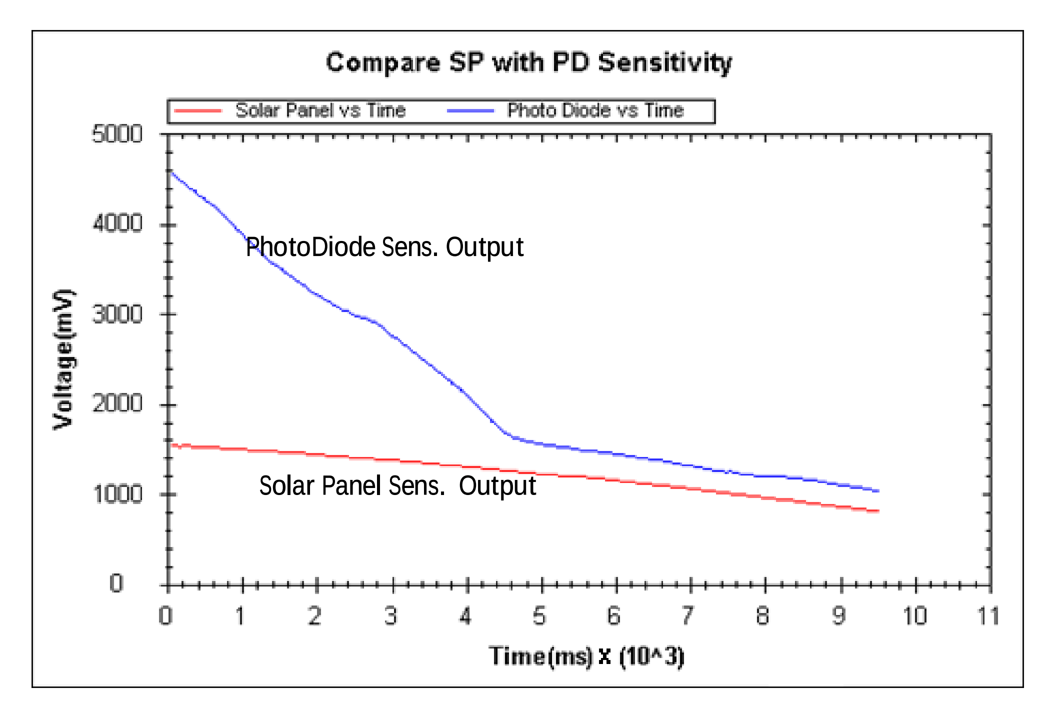
الشكل(3-9) طريقة ملاحقة الشمس بطريقة الخلايا الشمسية

في حال سقوط أشعة الشمس بشكل مائل على الخليتين سيكون جهد إحداهما أكبر من الأخـرى ويظهر فرق في الجهد بينهما(إشارة الخطأ ΔV)، تتحسس دارة التحكم لإشارة الخطأ وتعطـي أمر بتدوير اللوح بشكل مستمر حتى يصبح الخطأ أصغرياً أو معدوماً ويتحقق ذلك فقط عندما تسقط الأشعة الشمسية بشكل عمودي على رأس المثلث.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وهناك طرق أخرى لملاحقة الشمس باستخدام المستقبل الضوئي Photodiode والترانزيستور الضوئي Phototransistor.

إن الحساس الذي استخدمته في التحسس لموضع الشمس هو الثنائي المستقبل الضوئي حيث تم تثبيته فوق اللوح الشمسي ولم استخدم اللوح الشمسي كمرجع للملاحقة وسبب ذلك موضح في التجربة التالية: قمت بإعطاء أمر بتحريك اللوح الشمسي لإجراء دورة كاملة وخلال عملية التحريك كان يتم قراءة خرج كلٍ من اللوح الشمسي(جهد الدارة القصيرة) والمستقبل الضوئي وبمعدل (40ms/Sample) وتخزينهما في ذاكرة النظام بعد ذلك قمت بنقل هذه المعطيات إلى الحاسب ورسمها للتحليل والمقارنة والشكل(3-10) يبين منحنيات الخرج لكلٍ من اللوح الشمسي والمستقبل الضوئي حيث تُبين بأن حساسية المستقبل الضوئي عالية واستجابته سريعة(الميل أكبر) بالمقارنة مع حساسية واستجابة اللوح الشمسي لذلك فقد تم اختيار الثنائي الضوئي كحساس مرجعي لموضع الشمس، يمكن تفسير ذلك من منطلق أن حجم المنطقة الحساسة للضوء في الحساس الضوئي أصغر بكثير من حجم اللوح الشمسي وبالتالي ستكون استجابته أسرع.

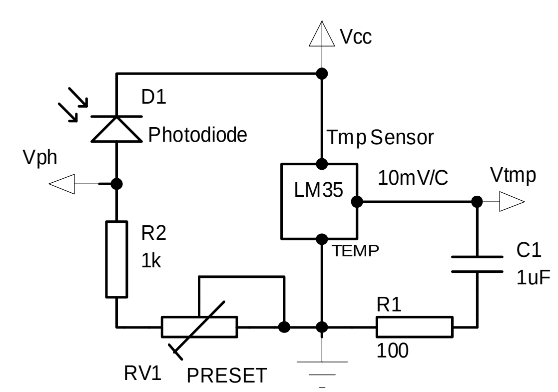


الشكل(3-10) مقارنة بين خرج الثنائي الضوئي وخرج اللوح الشمسي

لقد تم وضع الحساس الضوئي والحساس الحراري مع دارات الملاءمة على لوحة نحاسية(لوحة مطبوعة PCB) كما هو مبين في الشكل(3-11) وتم تثبيت هذه اللوحة أعلى اللوح الشمسي وبحيث يكون سطح الحساس الضوئي موازي لسطح اللوح الشمسي كما هو

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

مبين بالشكل(3-7)، يتحسس الحساس الضوئي لتغيرات الشدة الضوئية أثناء تحريك اللوح الشمسي وعندما يصل خرج الحساس إلى القيمة الأعظمية يتم إيقاف اللوح الشمسي ويتم تسجيل درجة حرارة اللوح الشمسي وبارامترات أخرى سنذكرها لاحقاً.



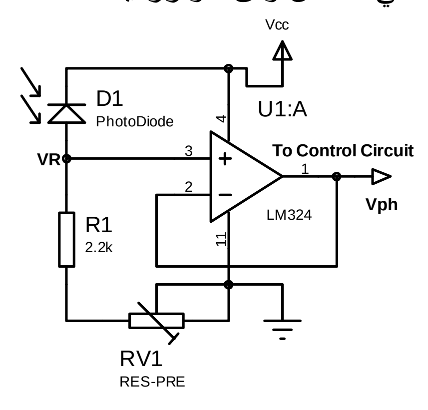
الشكل(3-11) حساس الشدة الضوئية والحرارة مع دارات الملاءمة

3.3.2. حساسات القياس ودارات الملاءمة:

لقد تم استخدام عدة حساسات في هذه المنظومة وهي كالتالي:

3.3.2.1. الحساس الضوئي:

عبارة عن ثنائي ضوئي Photodiode، تم استخدام هذا الحساس نظراً لسرعة استجابته وحساسيته العالية لتغيرات الشدة الضوئية كما ذكرنا سابقاً. تُعطي دارة الملاءمة لهذا الحساس جهداً متناسباً مع الشدة الضوئية، يستخدم هذا الجهد في دارة التحكم لتوجيه اللوح الشمسي باتجاه الإشعاع الأعظمي للشمس وفق خوارزمية ملاحقة محددة ضمن دارة التحكم.



الشكل(3-12) دارة الملاءمة للثنائي المستقبل الضوئي photodiode

إن دارة الملاءمة لهذا الحساس موضحة بالشكل(3-12) وتعمل وفق التالي:

يتغير تيار الثنائي الضوئي تبعاً للشدة الضوئية التي يستقبلها حيث تزداد قيمته بازدياد الشدة الضوئية بشكل متناسب أي $(I_{light} \propto Light\ Intisity)$ وبالتالي يزداد هبوط الجهد على طرفي المقاومة الثابتة الموصولة مع الثنائي والعلاقات التالية توضح ذلك:

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

$$I_D = I_S(e^{\frac{qV_D}{nkT}} - 1) - I_{ph} \cong -I_{ph} \qquad (3-1)$$

$$V_R = V_{CC} - V_D = I_D \cdot R \cong -I_{ph} \cdot R \qquad (3-2)$$

حيث R = R1 + RV1: هي المقاومة الثابته المتصلة على التسلسل مع الثنائي.

أما علاقة التيار الضوئي كتابع للتدفق الضوئي أي: $I_{ph} = f(\Phi)$ فيتم الحصول عليه من خلال المعادلات التالية:

$$I_{ph} = \frac{h\Phi l q}{hc} = C \cdot \Phi \qquad (3-3)$$

$$V_R = -C \cdot \Phi \cdot R \qquad (3-4)$$

$$\Phi \uparrow \Rightarrow I_{ph} \uparrow \Rightarrow V_R \uparrow$$

حيث η: هي الفعالية الكوانتية(التحويل).

λ: طول موجة الضوء الساقط على الثنائي.

q: شحنة الإلكترون.

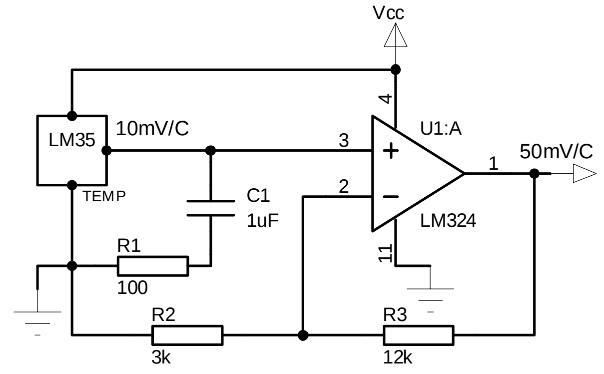
hc: سرعة الضوء وثابت بلانك على التوالي.

Φ: التدفق الضوئي الساقط على الثنائي.

يعمل المضخم العملياتي U1 كعازل لعزل إشارة الدخل(V_R) عن الخرج.

3.3.2.2. الحساس الحراري:

يستخدم لقياس درجة حرارة السطح الزجاجي للوح الشمسي حيث تم لصق هذا الحساس على سطح اللوح الشمسي. استخدمت الحساس الحراري LM35 كونه يعطي جهد خرج خطي متناسب مباشرة مع درجة الحرارة المقدرة بـ(ºC).



الشكل(3-13) دارة الملاءمة للحساس الحراري LM35

لا يحتاج هذا الحساس إلى دارات ضبطٍ خارجيةٍ، وأيضاً يتمتع بمميزة تحويل خطيّة وحساسية جيدة (10mV/ºC). إن دارة الملاءمة لهذا الحساس مبينة بالشكل(3-13) وتعمل وفق التالي:

يعطى جهد خرج الحساس بالعلاقة التالية:

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

$$V(T) = S_T \cdot (T - T_0) \qquad (3-5)$$

حيث S_T: هي حساسية الحساس وتساوي إلى (10mV/ºC).

يتم تضخيم جهد خرج الحساس خمس مرات بواسطة المضخم U1 حسب العلاقة التالية:

$$V_{TEMP} = \left(1 + \frac{R3}{R2}\right) \cdot V(T) = 5 \cdot V(T) \qquad (3-6)$$

وتكون الحساسية الكلية لدارة القياس:

$$S_{Total} = S_T \cdot A_V = 10 \times 5 = 50 mV / C \qquad (3-7)$$

3.3.2.3 الحساس الزاوي Angle Sensor:

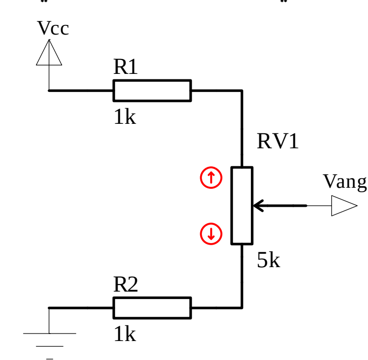
يستخدم هذا الحساس لقياس زاوية دوران اللوح الشمسي(زاوية السمت β)، وهو عبارة عن مقاومة متغيرة خطية ذراعها مركب على محور دوران زاوية السمت ويدور بشكل متزامن مع محور الدوران، تعمل المقاومة كمقسم جهد خطي ويتم حساب زاوية الدوران من العلاقة التالية:

$$b = a \cdot V_{ang} + b \qquad (3-8)$$

حيث a: هو ثابت التحويل وواحدته (deg/V)

b: هي الزاوية الابتدائية أي β_0.

إن دارة الملاءمة لهذا الحساس مبينة في الشكل(3-14) التالي:



الشكل(3-14) دارة الملاءمة للحساس الزاوي

يتم حساب جهد التقسيم V_{ang} من العلاقة التالية:

$$V_{ang} = \frac{c \cdot RV1 + R2}{R1 + RV1 + R2} \cdot Vcc = \frac{R2 \cdot Vcc}{DET} + \frac{RV1 \cdot Vcc}{DET} \cdot c = V_{offset} + K \cdot c \qquad (3-9)$$

حيث χ: هو عامل التقسيم للحساس الزاوي RV1.

DET: هو مقام الكسر أي: $DET = R1 + RV1 + R2$

بالتعويض في العلاقة(3-7) أعلاه نحصل على العلاقة بين زاوية الدوران عامل التقسيم χ:

$$b = a \cdot (V_{offset} + K \cdot c) + b = a \cdot K \cdot c + a \cdot V_{offset} + b = A \cdot c + B \qquad (3-10)$$

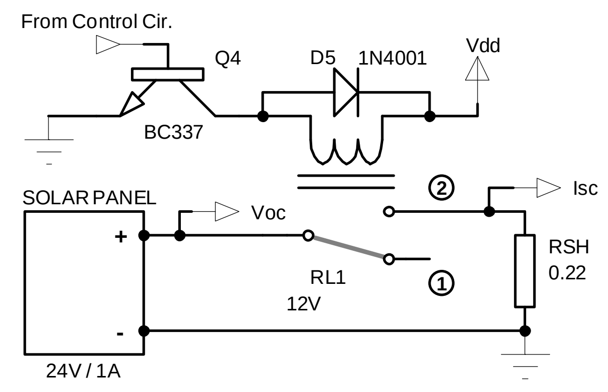
All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الغاية من قياس زاوية السمت للوح الشمسي هي التحقق من موقع اللوح الشمسي وخاصة في الأيام الغائمة وذلك بالمقارنة مع الموقع في اليوم السابق من ناحية والحصول على قاعدة بيانات الموقع من ناحية أخرى والتي تفيد لدى عمل المنظومة في نمط خوارزمية التحكم الثابته.

3.3.2.4. قياس جهد الدارة المفتوحة V_{OC} وتيار الدارة المقصورة I_{SC} للوح الشمسي:

تُستخدم الدارة الموضحة في الشكل(3-15) لقياس جهد الدارة المفتوحة V_{OC} وتيار الدارة القصيرة I_{SC} للوح الشمسي. بجعل تماس الريليه على الوضعية ① عن طريق تطبيق '0' منطقي على قاعدة الترانزيستورQ من دارة التحكم يصبح خرج اللوح مفتوحاً ويتم بالتالي قياس الجهد V_{OC} بواسطة متحكم القياس في دارة التحكم، وبجعل تماس الريليه على الوضعية② عن طريق تطبيق '1' منطقي على قاعدة الترانزيستورQ يتم قصر خرج اللوح على الحمل R_{sh} ويمر تيار القصر I_{sh} عبره وبقياس قيمة الجهد الهابط على المقاومة R_{sh} يتم تحديد تيار القصر وبتقريب مقبول من العلاقة (3-11) التالية:

$$I_{sc} = \frac{V_{Rsh}}{R_{sh}} \qquad (3-11)$$



الشكل(3-15) دارة قياس جهد الدارة المفتوحة V_{OC} وتيار الدارة المقصورة I_{SC} للوح الشمسي

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

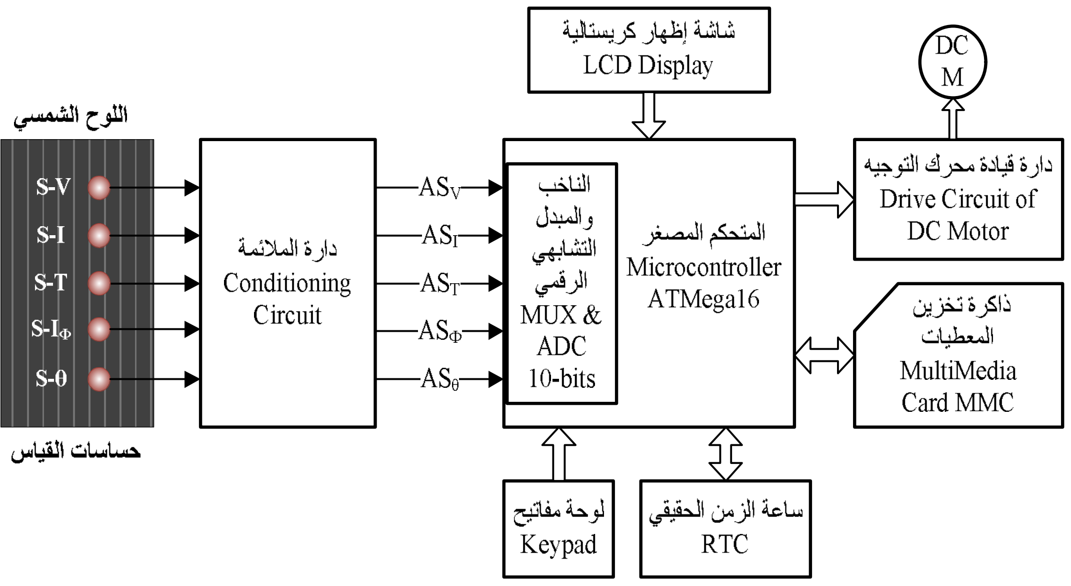
3.3.2.5. المفاتيح الحدودية Limit Switches:

وهما مفتاحان (تماسان) أحدهما يتحسس لبداية الشوط لقاعدة الملاحقة والآخر يتحسس لنهاية الشوط، تتحسس دارة التحكم من خلالهما عن موضع البداية والنهاية وتعطي أمراً بإيقاف محرك توجيه اللوح الشمسي عند هذين الموضعين، هذان المفتاحان يحددان المجال الزاوي لدوران اللوح الشمسي حول محور السمت أي $\beta \in [\beta_{min}, \beta_{max}]$.

3.3.3. دارة التحكم والقيادة:

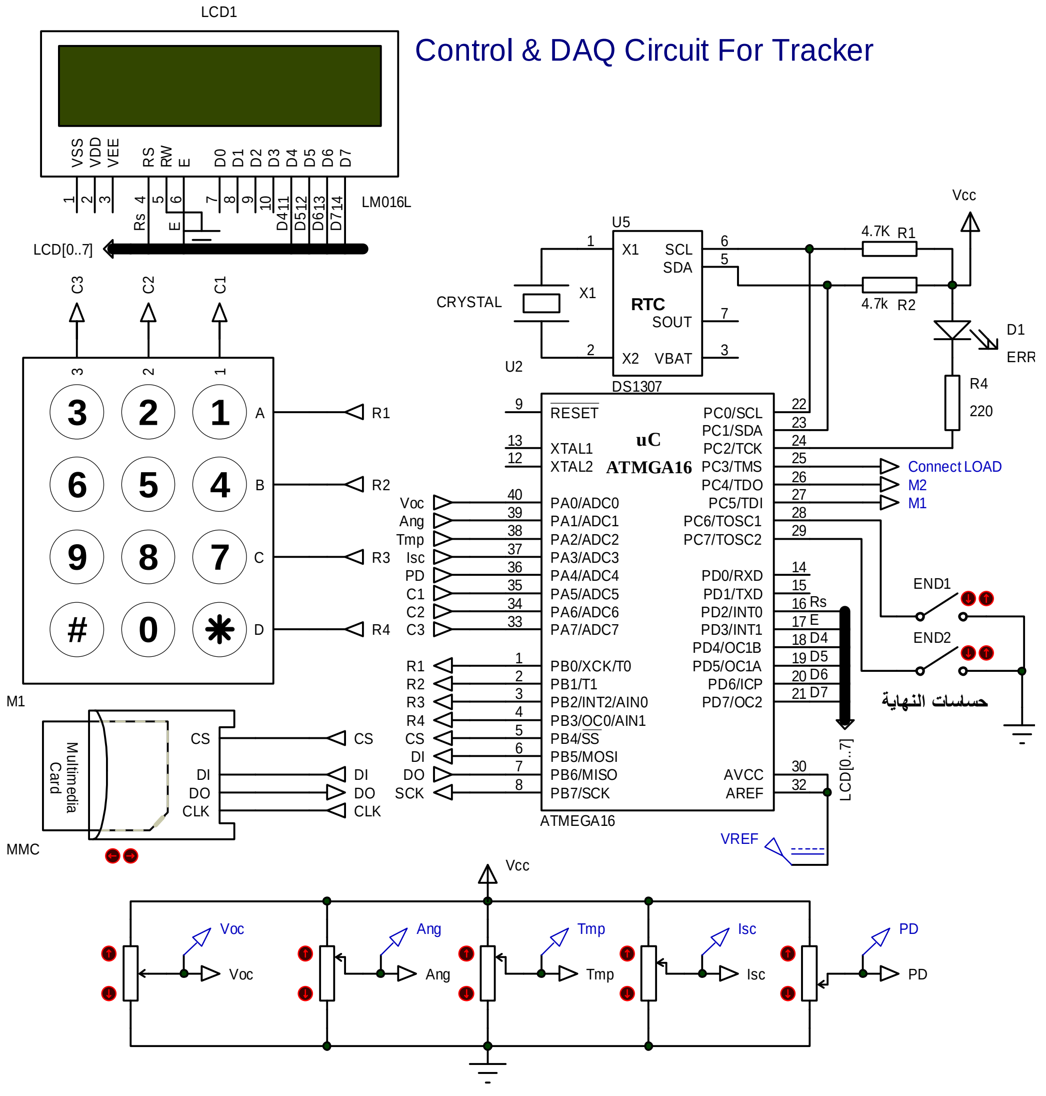
تتكون دارة التحكم والقيادة للملاحق الشمسي من متحكم مصغر MC-Mega16 من متحكمات عائلة AVR ومن مبدل تشابهي رقمي ADC مدمج ضمن شريحة المتحكم ويحوي على ثمانية أقنية انتخاب تشابهية، وتتكون أيضاً من البطاقة الذاكريّة MMC لتخزين معطيات اللوح الشمسي ومعطيات أخرى، وعلى شريحة الزمن الحقيقي RTC التي تعطي الوقت والتاريخ في الزمن الحقيقي ودارة قيادة محرك توجيه اللوح الشمسي بالإضافة إلى لوحة مفاتيح وشاشة إظهار كريستاليّة لمعايرة وضبط إعدادات منظومة الملاحقة.

يبين الشكل (3-16) المخطط الصندوقي لدارة التحكم وتحصيل المعطيات. يثبت اللوح الشمسي على قاعدة التوجيه الميكانيكية، ويثبت عليها مجموعة من حساسات القياس الموصولة إلى دارات الملاءمة لتقوم بتوليد الإشارات الكهربائية المناسبة المعبِّرة عن المتحولات المقاسة لتطبق على مداخل المبدل التشابهي الرقمي ADC. يبين الشكل(3-17) المخطط العملي لدارة التحكم وتحصيل المعطيات حيث أُستُعيض عن الحساسات ودارات الملاءمة بمقاومات متغيرة للدلالة فقط.



الشكل(3-16) المخطط الصندوقي العام لدارة التحكم والقيادة وتحصيل المعطيات

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(3-17) المخطط العملي لدارة التحكم وتحصيل المعطيات

لقد وقع الاختيار على المتحكم المصغر ATMEGA16 لأنه يتمتع بالمزايا التالية:

1- يحتوي على أربع منافذ كل منها بطول 8-bit تعمل كدخل أو كخرج أي 32-I/OPins.

2- مبدل تشابهي رقمي ADC بثمانية أقنية انتخاب تشابهية تستخدم لقياس جهود الحساسات.

3- منافذ اتصال تسلسلية: UART, SPI, TWI.

4- ذواكر Memories

- ذاكرة برنامج سريعة بسعة 16KB.
- ذاكرة ثابتة(Non Volatile) EEPROM بسعة 512B.
- ذاكرة وصول عشوائية RAM بسعة 1KB.

إن دارة التحكم وتحصيل المعطيات المبينة بالشكل(3-17) تحتاج إلى هذه المتطلبات(المزايا)،

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

حيث تم استخدام جميع أقطاب المتحكم وأنماط الاتصال التسلسلية وأيضاً الذواكر، حيث استهلك برنامج التحكم وتحصيل المعطيات حوالي 60% من ذاكرة البرنامج واستهلكت المعطيات وبارامترات التحكم حوالي 98% من الذاكرة الثابته.

إن الوصف المفصَّل لكلاً من المتحكم ATMEGA16 و البطاقة الذاكريِّة MMC وشريحة الزمن الحقيقي RTC موجود في الملاحق(1، 2، 3) في آخر الأطروحة.

إن الوصف المفصَّل لكلاً من المتحكم ATMEGA16 والبطاقة الذاكريِّة MMC وشريحة الزمن الحقيقي RTC موضح في الملاحق.

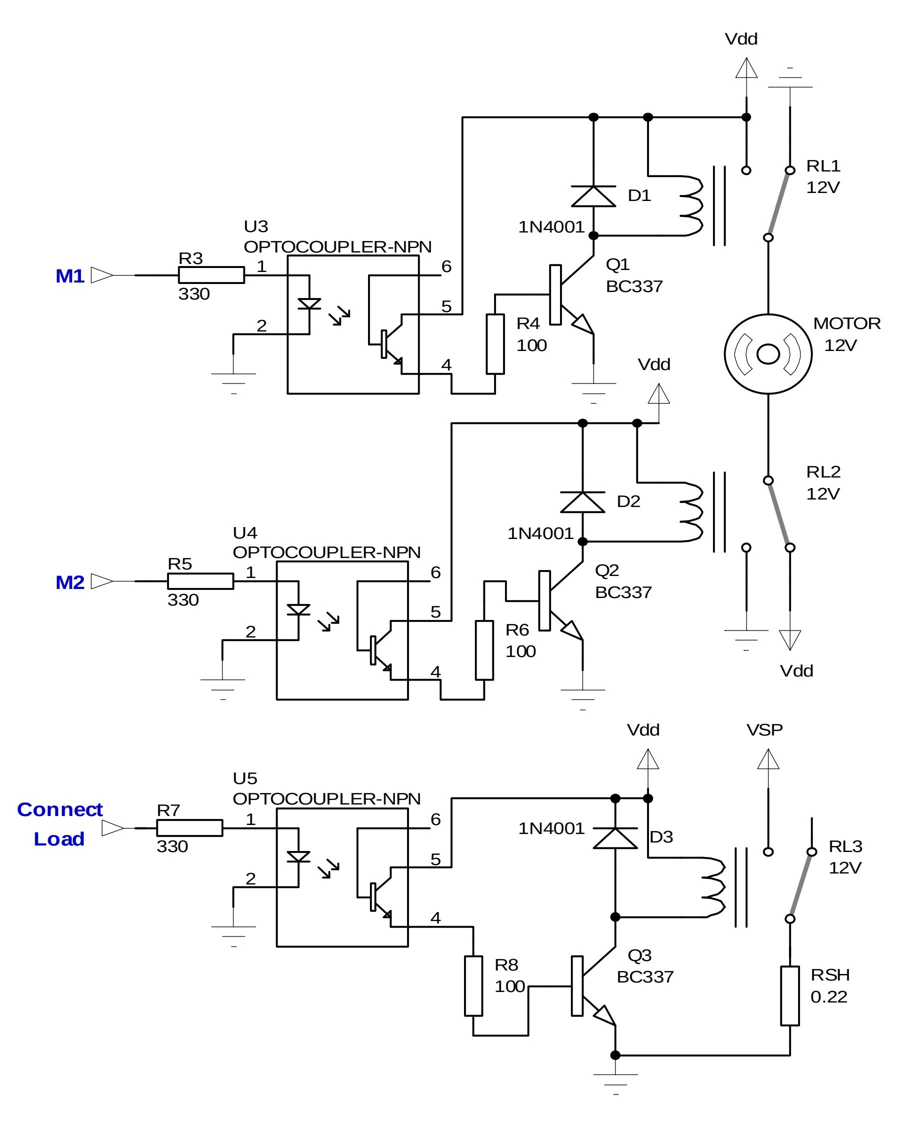
أما دارة القيادة فهي مبينة في الشكل(3-18) حيث تتكون من عوازل ضوئية OptoTransistors لتأمين عزل دارة التحكم عن دارة القيادة للتخلص من الضجيج الذي قد تسببه دارة القيادة، ومن ثلاثة ترانزيستورات Q1,Q2,Q3 تتحكم بقيادة ثلاث ريليهات RL1,2,3 وثلاثة أقطاب تحكم M1, M2, Connect Load مبينة في الشكل(3-17) حيث يُستخدم القطبان M1, M2 للتحكم بتوصيل الريليهات المسؤولة عن إيصال التغذية إلى محرك التوجيه حيث تتيح ثلاث إمكانيات حسب حالتها المنطقية وفق الجدول(3-1) التالي:

M1	M2	العمل
0	0	إيقاف المحرك
1	1	إيقاف المحرك
0	1	دوران المحرك باتجاه اليمين
1	0	دوران المحرك باتجاه اليسار

الجدول(3-1) حالات محرك التوجيه تبعاً لقطبي التحكم M1, M2

أما قطب التحكم Connect Load فيُستخدم لوصل أو فصل الحمل R_{sh} إلى اللوح الشمسي، وذلك لقياس تيار القصر أو جهد الدارة المفتوحة على التوالي.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



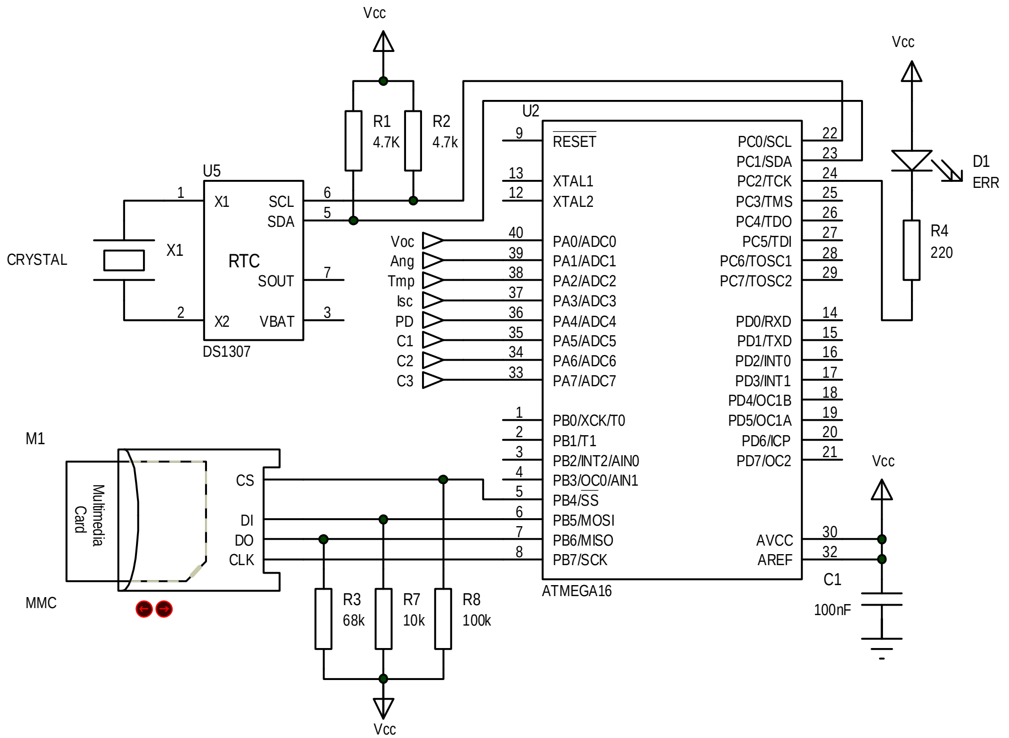
الشكل(3-18) المخطط العملي لدارة القيادة والتحكم بمحرك التوجيه والحمل

3.3.4. دارة تحصيل المعطيات:

تتكون دارة تحصيل المعطيات المبينة في الشكل(3-19) من متحكم مصغر ATMEGA16 ومن شريحة الزمن الحقيقي RTC والشريحة الذاكرية MMC. تستقبل هذه الدارة مجموعة المعطيات القادمة من دارات الملاءمة للحساسات والمطبقة على المنفذ PORTA للمتحكم والذي يمثل مداخل المبدل التشابهي الرقمي ADC المبني ضمن شريحة المتحكم المصغر.

تتصل الشريحة الذاكريِّة MMC مع المتحكم عبر المنفذ التسلسلي المتزامن ويتم تبادل الأوامر والمعطيات فيما بينهما عن طريق الاتصال التسلسلي SPI أما شريحة الزمن الحقيقي فتتصل مع المتحكم عبر المنفذ التسلسلي المتزامن I2C.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(3-19) دارة تحصيل المعطيات

يتم تحصيل المعطيات بُعيد كل دورة ملاحقة وهذه المعطيات هي: التاريخ – الوقت – جهد الدارة المفتوحة – تيار الدارة القصيرة – درجة الحرارة – زاوية دوران اللوح الشمسي – شدة الإضاءة، وتُرتب وفق إطار المعطيات الموضح في الجدول(3-2).

Date	Time	V_{oc}	I_{sc}	T_{sp}	θ	V_{ph}

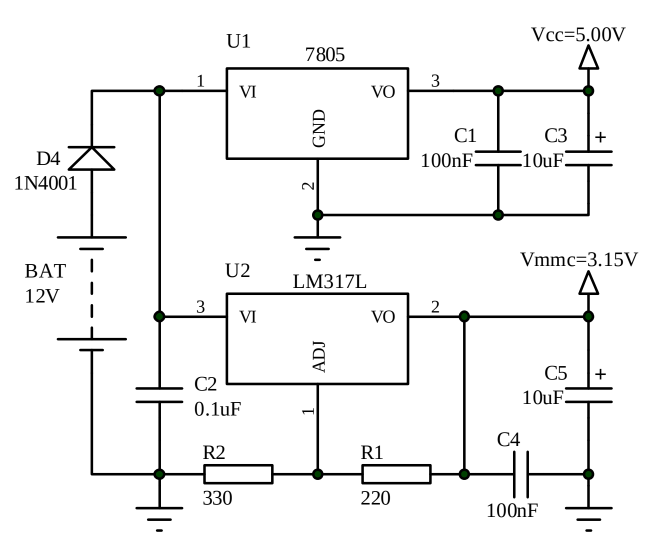
الجدول(3-2) إطار المعطيات المحصلة بواسطة DAQ Sys.

تُخزن أطر المعطيات في الشريحة الذاكرية MMC بشكل متتابع حيث تم تقسيمها إلى قطاعات ذاكرية وكل قطاع يتسع لمعطيات يوم كامل.

3.3.5. دارات التغذية الكهربائية لمنظومة الملاحقة:

تتغذى دارة التحكم وتحصيل المعطيات من خلال بطارية (12V) قابلة للشحن، إن تغذية المتحكم والمبدل التشابهي الرقمي ودارات الملاءمة للحساسات هي (5V) أما تغذية البطاقة الذاكرية MMC وشريحة الزمن الحقيقي RTC فهي (3.1V)، يتم الحصول على هذين الجهدين من خلال إضافة منظمي جهد، المنظم (LM7805) للحصول على جهد (5V) و(LM317) للحصول على جهد (3.1V) حسب الدارة المبينة بالشكل(3-20)، لقد تم إضافة مكثفات 100nF,10uF لامتصاص إشارات الضجيج القادمة من جميع أنحاء الدارة والناشئة أيضاً عن اشتراك عدة دارات بمنبع التغذية نفسه، حيث تم وضع هذه المكثفات عند كل دارة على حده للتخلص من هذه المشكلة.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(3-20) دارة التغذية لدارة التحكم والشريحة الذاكرية MMC

يتم تحديد قيم المقاومات (R1, R2) لمنظم الجهد (LM317) للحصول على الجهد (3.15V) بواسطة العلاقة (3-12) التالية:

$$V_{mmc} = 1.25\left(1+\frac{R2}{R1}\right)+10^{-4}\cdot R2 = 3.15V \qquad (3-12)$$

أما دارة القيادة ومحرك التوجيه فيتم تغذيتها بشكل مستقل من خلال بطاريـــة (12V) أيضـــاً، لكي لا يؤثر الضجيج الناتج عن المحرك على المقادير المُقاسة ويتم إيصال إشـــارات الـــتحكم من دارة التحكم إلى دارة القيادة من خلال العوازل الضوئية Photo-Insulators.

3.4. خوارزمية الملاحقة وآلية عملها:

قبل البدء بشرح خوارزمية الملاحقة يجب التعرُّف أولاً على بـــارامترات خوارزميـــة الملاحقة.

3.1.1. بارامترات خوارزمية الملاحقة:

1- وقت البداية T_{strat}:

يحدد هذا البارامتر وقت بدأ عملية الملاحقة للملاحق الشمســـي، يمكـــن أن يأخـــذ القيمـــة (6:30 PM) صباحاً مثلاً.

2- وقت النهاية T_{end}:

يحدد هذا البارامتر وقت انتهاء عملية الملاحقة للملاحق الشمسي، يمكن أن يأخذ القيمة هذا البارامتر (7:00 AM) مساءً مثلاً.

3- الفاصل الزمني بين كل عمليتي ملاحقة $T_{interval}$:

تبين من خلال التجارب العملية أن القيمة العملية لهذا البارامتر هي(10.. 15min).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

4- معدَّل القراءة τ:

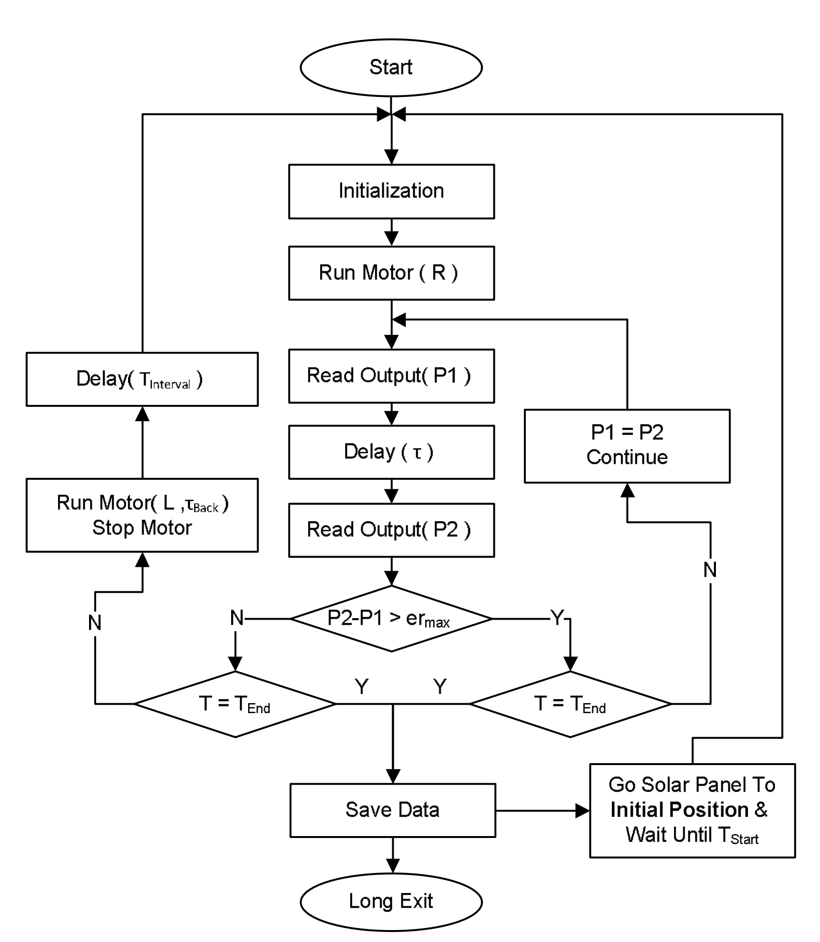
يحدد هذا البارامتر الفاصل الزمني بين كل قراءة وأخرى لخرج الحساس الضوئي من قبل المتحكم أثناء إجراء عملية الملاحقة والقيمة المناسبة لهذه البارمتر هي (15 .. 20ms) وهذه القيمة تتعلق بسرعة تحريك اللوح الشمسي أثناء إجراء عملية الملاحقة وموافقة لسرعة دوران محرك (5mm/s).

5- خطأ التوقف الأعظمي لخوارزمية الملاحقة er_{max}.

وهناك بارامترات أخرى متعلقة بالبطاقة الذاكريِّة MMC مثل العنوان الابتدائي لتخزين المعطيات Initial Address وحجم القطاع الذاكري Sector Size.

تُثبَّت هذه البارامترات (الإعدادات) في ذاكرة المتحكم الثابته EEPROM ليتم عمل المنظومة على أساسها.

يبين الشكل(3-21) المخطط التدفقي لخوارزمية الملاحقة المستخدمة لتوجيه اللوح الشمسي لمواضع الاستطاعة الأعظمية.



الشكل(3-21) المخطط التدفقي لخوارزمية الملاحقة

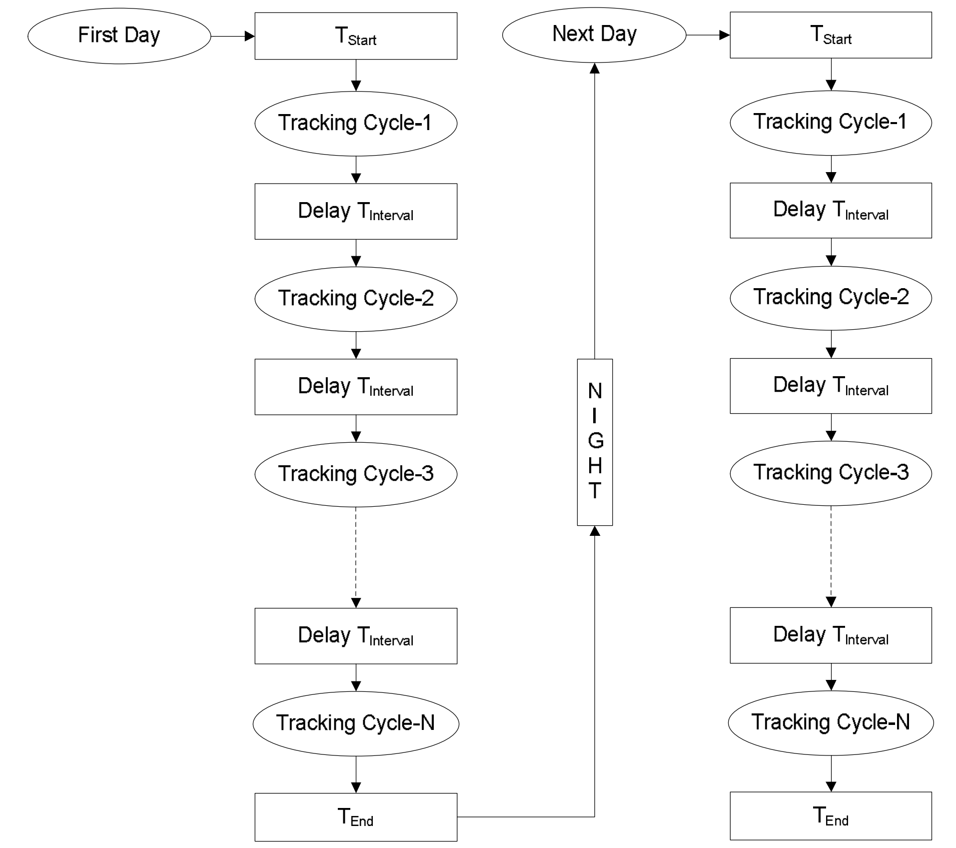
All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

تُنَفَّذ دورة الملاحقة (الفترة الزمنية التي يتم خلالها ملاحقة الإشعاع الأعظمي للشمس وتنتهي عندما يصبح اللوح الشمسي معامداً للإشعاع الشمسي. يعمل محرك التوجيه فقط خلال هذه الفترة) بعد كل انقضاء فترة زمنية قدرها $T_{interval}$ محددة في بارامترات المنظومة فقط، أما خلال الفترة الزمنية $T_{interval}$ تبقى المنظومة في حالة سكون ويمكن وضع المعالج خلالها في نمط توفير الطاقة Power Saving، وهكذا تتكرر دورة الملاحقة خلال اليوم (من الشروق إلى الغروب) عدة مرات ويتم حساب عدد هذه المرات من خلال العلاقة (3-13):

$$N_{Track\ Cycles} = \frac{T_{end} - T_{start}}{T_{interval}} \qquad (3-13)$$

يتم تسجيل معطيات اللوح الشمسي بعد كل دورة ملاحقة وهي تيار القصر I_{SC} وجهد الدارة المفتوحة V_{OC} للوح الشمسي وكذلك درجة الحرارة والشدة الضوئية وزاوية الدوران والوقت والتاريخ في ذاكرة المتحكم المصغر على شكل إطار معطيات Data-Frame وبصيغة محددة.

يوضح المخطط التدفقي المبين بالشكل(3-22) التالي الإطار العام لآلية عمل منظومة الملاحقة خلال اليوم الواحد وتكرارها خلال الأيام التالية:



الشكل(3-22) المخطط التدفقي لآلية عمل منظومة الملاحقة خلال اليوم الواحد وتكرارها

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3.1.2. شرح دورة الملاحقة Tracking Cycle:

تتلخص دورة الملاحقة بالموجز التالي: يُعطي المتحكم أمر بتشغيل محرك توجيه اللوح الشمسي وفق الاتجاه المحدد من الشروق إلى الغروب، يبدأ اللوح الشمسي بالتحرك، وبنفس الوقت يبدأ المتحكم بقراءة إشارة خرج الحساس الضوئي وبفواصل زمنية محددة قدرها τ ويقارن القيمة السابقة بالقيمة اللاحقة لإشارة الحساس الضوئي فإذا كانت في حالة تزايد يستمر بتحريك اللوح وبنفس الاتجاه وتتكرر عملية القراءة والمقارنة أثناء تحريك اللوح كما أسلفنا إلى أن تبدأ إشارة خرج الحساس الضوئي بالتناقص وبقيمة أكبر أو تساوي قيمة الخطأ er_{max} عندئذٍ يُصدِر المتحكم أمراً بإيقاف محرك توجيه اللوح عند المكان المحدد للاستطاعة الأعظمية ويخزن البيانات في ذاكرة المتحكم لتنتهي بذلك دورة الملاحقة. تتمثل دورة الملاحقة هذه بجزء من المخطط التدفقي المبين في الشكل(3-21) السابق.

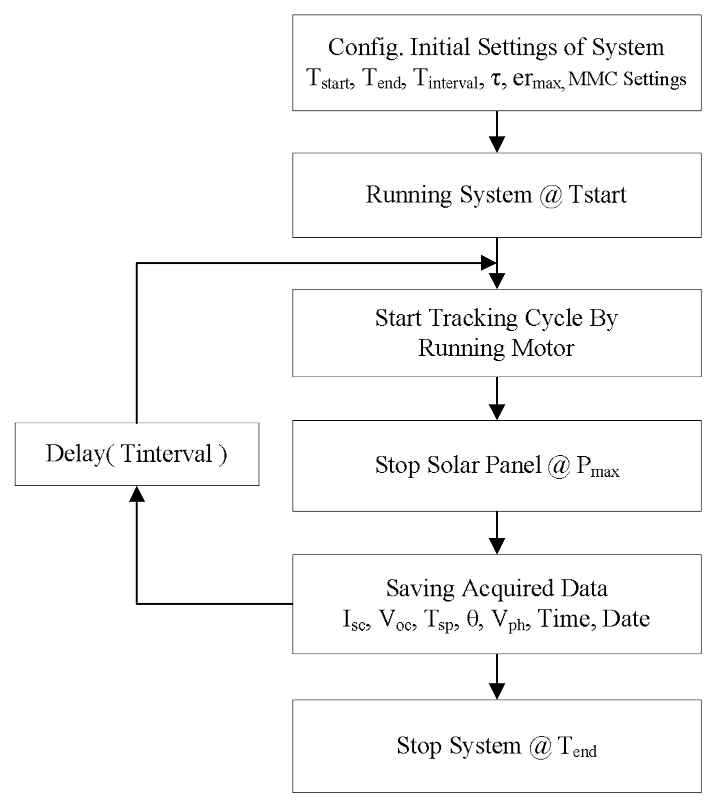
3.1.3. آلية عمل منظومة الملاحقة:

يُعطي المستخدم أمر تشغيل Run لمنظومة الملاحقة كي تبدأ بالعمل، تبدأ عملية الملاحقة اعتباراً من وقت البداية T_{start} وتجري عملية تحريك اللوح والملاحقة (البحث عن موضع الاستطاعة الأعظمية) بعد كل فاصل زمني قدره $T_{interval}$ محدد، حيث يصدر المتحكم أمراً بتشغيل المحرك ليبدأ بتدوير اللوح باتجاه تزايد الاستطاعة ويستمر اللوح الشمسي بالتحرك وفق هذا الاتجاه إلى أن تبدأ استطاعته بالنقصان عندها يصدر أمراً بإيقاف محرك التوجيه ويخزن معطيات اللوح الشمسي في ذاكرة المتحكم وتنتهي بذلك دورة الملاحقة. يتلخص مبدأ عمل المنظومة بالمخطط التدفقي المبين في الشكل (3-23).

تعمل هذه المنظومة يومياً وبشكل آلي حيث تبدأ بعملية الملاحقة من وقت شروق الشمس وفي وقت محدد T_{start} وبفواصل زمنية محددة $T_{interval}$، تُسجل معطيات المنظومة خلال هذه الفترات ضمن ذاكرة المعطيات MMC، وتنتهي عملية الملاحقة عند الغروب وفي وقت محدد T_{end} ويعود اللوح الشمسي إلى الموضع الابتدائي Initial Position، وفي الليل تتوقف المنظومة عن العمل وينتقل المتحكم إلى وضع حفظ الطاقة (Power Saving). في الصباح ينتقل المتحكم إلى حالة العمل، عن طريق المقاطعة الناتجة عن حساس الشدة الضوئية PD-Sensor، لتبدأ المنظومة بدورة ملاحقة جديدة لليوم التالي وهكذا. لكل يوم من أيام السنة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

حيز مخصص في ذاكرة المعطيات تخزن فيه معطيـــات هـــذا اليـــوم، ويـــتم قـــــراءة هـــذه المعطيـــات وتحليلها بواسطة الحاسب.



الشكل(3-23) المخطط التدفقي لمبدأ عمل منظومة الملاحقة

بعد أن عرضنا في هذا الفصل البنية الصلبة لنظام الملاحقـــة الشمســـي Hardware المتمثـــل بوصف بنية الملاحق الذي تم اختياره(القسم الميكـــانيكي) ودارة الـــتحكم والقيـــادة وتحصـــيل المعطيات مع مبادئ العمل لكلٍ منها وأيضاً شرح خوارزمية الملاحقـــة وآليـــة عمـــل نظـــام الملاحقة طيلة يوم كامل وعدة أيام، ننتقل إلى الفصل التالي والـــذي يشـــرح بشـــكل مفصـــل مكونات نظام تحصيل المعطيات وبروتوكول التخاطب بين الحاسب وقارئ البطاقة الذاكريـــة MMC ويركِّز بشكل كبير على القسم المرن(البرامج) Software وبنـــى المعطيـــات -Data Structures وواجهات الربط مع المستخدم GUI المتمثلة بالبرامج الحاسوبية Software.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الرابع

قسم تحصيل المعطيات ـ نقل البيانات إلى الحاسب ـ بروتوكول التخاطب التسلسلي بين الحاسب وقارئ البطاقة الذاكرية

4.1. مقدمة 46

4.2. الأجزاء الأساسية لنظام تحصيل المعطيات 46

4.3. آلية عمل نظام تحصيل المعطيات 47

4.4. المعطيات المراد تحصيلها 47

4.5. المخطط التدفقي العام لسير برنامج تحصيل المعطيات 49

4.6. نقل البيانات إلى الحاسب 51

4.6.1. دارة ربط قارئة البطاقة الذاكريّة مع الحاسب 51

4.6.2. بروتوكول التخاطب التسلسلي بين الحاسب والمتحكم المصغر 52

4.6.3. مبررات بروتوكول التخاطب التسلسلي 56

4.6.4. مبدأ عمل بروتوكول التخاطب التسلسلي 57

4.6.5. إمكانيات برنامج التخاطب بين الحاسب والمتحكم وواجهة التفاعل مع المستخدم 60

4.7. فوائد نظام تحصيل المعطيات في نظام الملاحقة 62

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

4.1. مقدمة:

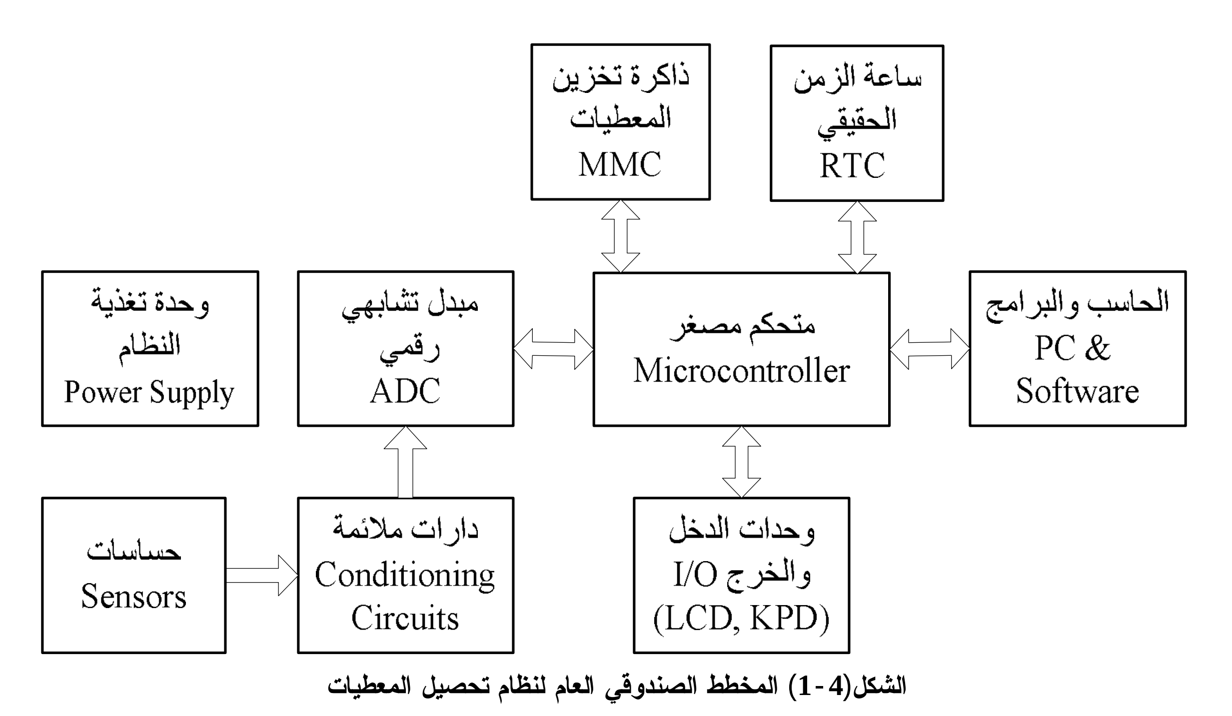
تُعدُّ أنظمة تحصيل المعطيات من الأدوات المهمة في نظم القياسات الإلكترونيـــة، حيــث توجد في معظم الأجهزة الإلكترونية والتطبيقات الصناعية مثــل الكــاميرات الرقميــة، أجهــزة التشخيص المخبريِّة، الأجهزة الطبيِّة والسيارات الحديثة والكثير من الأجهزة الأخرى.

تُستخدم أنظمة تحصيل المعطيات لدراسة تغيرات ظاهرة ما مع الــزمن بهــدف تحليلهــا ومعالجتها إما للتحكم والوصول إلى الحالة الأمثليِّة إذا كان مضافاً إليها نظام تحكم كما في حالتنــا المدروسة أو لوصف المنتج أو الحالة المدروسة، وبناءً على ذلك يمكــن تعريــف نظــام تحصــيل المعطيات وفق التالي:

نظام تحصيل المعطيات: هو عبارة عن نظام قياس إلكتروني متخصص بقياس المقادير الكهربائية أو الفيزيائية(معطيات القياس) من الوسط الخارجي وتخزينها بشكل رقمي من أجل معالجتها مــن قبــل المتحكم أو الحاسب، ويتم الحصول على هذه المعطيات من حساسات موضوعة في أماكن محــددة للنظام المراد دراسته.

4.2. الأجزاء الأساسية لنظام تحصيل المعطيات:

يبين الشكل(4-1) المخطط الصندوقي العام لنظام تحصيل المعطيات حيــث يتــألف مــن الوحدات التالية:



الشكل(4-1) المخطط الصندوقي العام لنظام تحصيل المعطيات

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

- الحساسات ودارات الملاءمة.
- المبدل التشابهي الرقمي ADC.
- وحدة تحكم CU أو متحكم مصغر Microcontroller لقيادة النظام.
- ذاكرة تخزين معطيات أو بطاقة ذاكريِّة MMC.
- وحدات دخل وخرج (Display, Keypad, ...).
- وحدة تغذية مستمرة Power Supply.
- حاسب شخصي PC.

4.3. آلية عمل نظام تحصيل المعطيات:

يُصدر المتحكم المصغر أوامر التحكم لمرحلة التحويل التشابهي الرقمي للقيم الفيزيائية المقاسة بمعدلات يتم تحديدها مسبقاً من إعدادات النظام، ثم يستقبل المعطيات(نتائج القياس) ويخزنها في ذاكرة المعطيات وفق صيغة محددة. تحتفظ الذاكرة بالمعطيات لحين وصل النظام مع الحاسب حيث يتم نقل هذه النتائج إلى الحاسب. يقوم الحاسب من خلال برنامج خاص مصمم للتعامل مع نظام تحصيل المعطيات باستقبال المعطيات وتخزينها بشكل يسهل التعامل معها تمهيداً لتحليلها ومعالجتها فيما بعد.

إن وحدات الدخل والخرج المتمثلة بلوحة المفاتيح وشاشة الإظهار تمكِّن المستخدم من ضبط إعدادات المنظومة وتشغيلها.

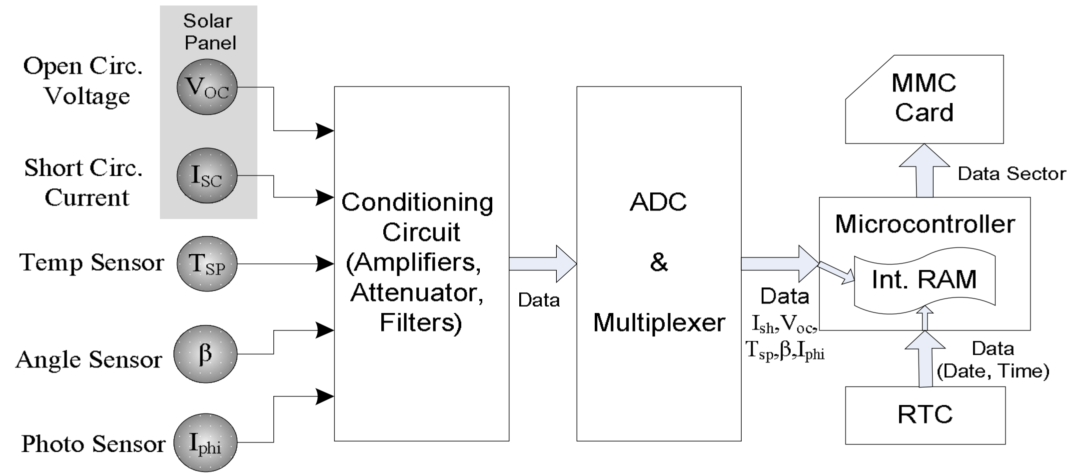
تؤمن وحدة التغذية الجهود المناسبة لمختلف وحدات النظام وأيضاً الجهود المرجعية لمرحلة المبدل التشابهي الرقمي.

4.4. المعطيات المراد تحصيلها وتنظيمها في ذاكرة المعطيات:

إن المعطيات المراد تحصيلها بواسطة المنظومة هي ذاتها المذكورة في الجدول(3-1) في الفصل الثالث، يتم تحصيل هذه المعطيات بعد كل دورة ملاحقة حيث تطبق الإشارات الكهربائية الناتجة عن حساسات القياس على دارات الملاءمة لكي يتم معالجتها(تضخيم، تخميد، ترشيح) للشكل المناسب للقياس بواسطة المبدل التشابهي الرقمي ADC حيث يأخذ كل إشارة قياس على حده عن طريق الناخب التشابهي الموجود على دخله ويحولها إلى الشكل الرقمي ويخزنها مؤقتاً ضمن متحول ذاكرة ومن ثم يأخذ إشارة القياس التالية ويحولها ويخزنها وهكذا حتى يحول جميع إشارات القياس(المعطيات) كما هو مبين في الشكل(4-2)، تكرر عملية القياس هذه (64) مرة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

وتراكم نتائج القياس في متحولات القياس وذلك للتخلص من الأخطاء العشوائية، تؤخذ فيما بعد القيمة المتوسطة لهذه النتائج بعد نقلها إلى الحاسب.



الشكل(4-2) المخطط الصندوقي لتوزع إشارات المعطيات لنظام تحصيل المعطيات المنفذ عملياً

يتم ترتيب وتخزين المعطيات المحصَّلة في ذاكرة المتحكم الداخلية على شكل إطارات منظَّمة وكل إطار يخضع إلى الصيغة التالية:

- كلمة دليل الإطار(رقم الإطار) Frame Index.
- المعطيات المحصلة من النظام.
- كلمة نهاية الإطار Frame End.

يوضح الجدول(4-1) صيغة إطار المعطيات لنظام الملاحقة، حيث يحتاج كل إطار إلى (20Bytes) في ذاكرة المعطيات.

Data Frame								
Frame Index	Date	Time	Voc	Isc	Tsp	Ang	Iphi	Frame End
2Bytes	3Bytes	3Bytes	2Bytes	2Bytes	2Bytes	2Bytes	2Bytes	2Bytes

الجدول(4-1) صيغة إطار معطيات نظام الملاحقة

يُشكِّل المتحكم بعد كل دورة ملاحقة إطار معطيات جديد ويرتِّب الأطر الناتجة ضمن ذاكرة المعطيات على شكل مصفوفة من أطر المعطيات(قطاع معطيات) حسب الجدول(4-2).

Data Sector Per Day		
Start of Sector SOS	Frame[0] = [20B]	
Sectors [512B] [i=1..365]	Frame[1] = [20B]	
	Frame[2] = [20B]	
	- - - -	
	- - - -	
	Frame[$N_{TrCycles}$] = [20B]	End Of Sector EOS

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الجدول(4-2) قطاع المعطيات المُشَكَل ضمن ذاكرة المتحكم

تم تحديد حجم القطاع الذاكري بحيث يتسع لمعطيات يوم كامل، وعليه فإن حجم القطاع الذاكري لذاكرة المعطيات يتحدد بعدد مرات دورات الملاحقة اليومية وحجم إطار المعطيات حسب العلاقة(4 - 1) التالية:

$$MS_{day} = MS_{Frame} \times N_{TrackCycles} \qquad (1-4)$$

فعلى سبيل المثال: إذا كان الفاصل الزمني بين كل عمليتي ملاحقة $T_{interval}$ = 20min وعدد ساعات النهار الشمسية T_{total}= 14hour فإن:

- § عدد مرات الملاحقة اليومية: $N_{TrackCycles} = \frac{T_{total}}{T_{interval}} = \frac{14 \times 60}{20} = 42\ Times$
- § وحجم القطاع الذاكري لليوم: $MS_{day} = MS_{Frame} \times N_{TrackCycles} = 20 \times 42 = 840\ Bytes$
- § حجم الذاكرة اللازم لسنة كاملة: $MS_{year} = MS_{day} \times 365 \approx 300\ KBytes$

إذا كان معدّل دورة الملاحقة أعظمياً أي (1TrackCycle/min) فإن حجم القطاع الذاكري اللازم لليوم الواحد يساوي إلى(16.4KB)، والحجم اللازم لسنة كاملة يساوي إلى(5.85MB).

تبين بالتجربة العملية بأن الفاصل الزمني المناسب بين كل دورتي ملاحقة يتراوح (10..15min)، يعود ذلك بسبب بطئ تغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح الشمسي خلال ساعات النهار.

كل قطاع معطيات يتم تجميعه في ذاكرة المتحكم يتم تخزينه في البطاقة الذاكريِّة MMC فقد تم تقسيم البطاقة إلى قطاعات وكل قطاع يتسع لمعطيات يوم كامل.

4.5. المخطط التدفقي العام لسير برنامج تحصيل المعطيات:

يوضح المخطط التدفقي المبين بالشكل(4-3) التالي آلية سير برنامج تحصيل المعطيات ويتلخص بالخطوات التالية:

1- تصفير متحولات المعطيات وعدّاد تكرار القياس.

2- وصل الحمل إلى اللوح الشمسي وإجراء(64) عملية قراءة لتياره ومراكمتها في متحوله.

3- فصل الحمل عن اللوح الشمسي وإجراء(64) عملية قراءة لكلٍ من جهد الدارة المفتوحة وزاوية الدوران ودرجة الحرارة وشدة الإضاءة ومراكمتها في متحولاتها.

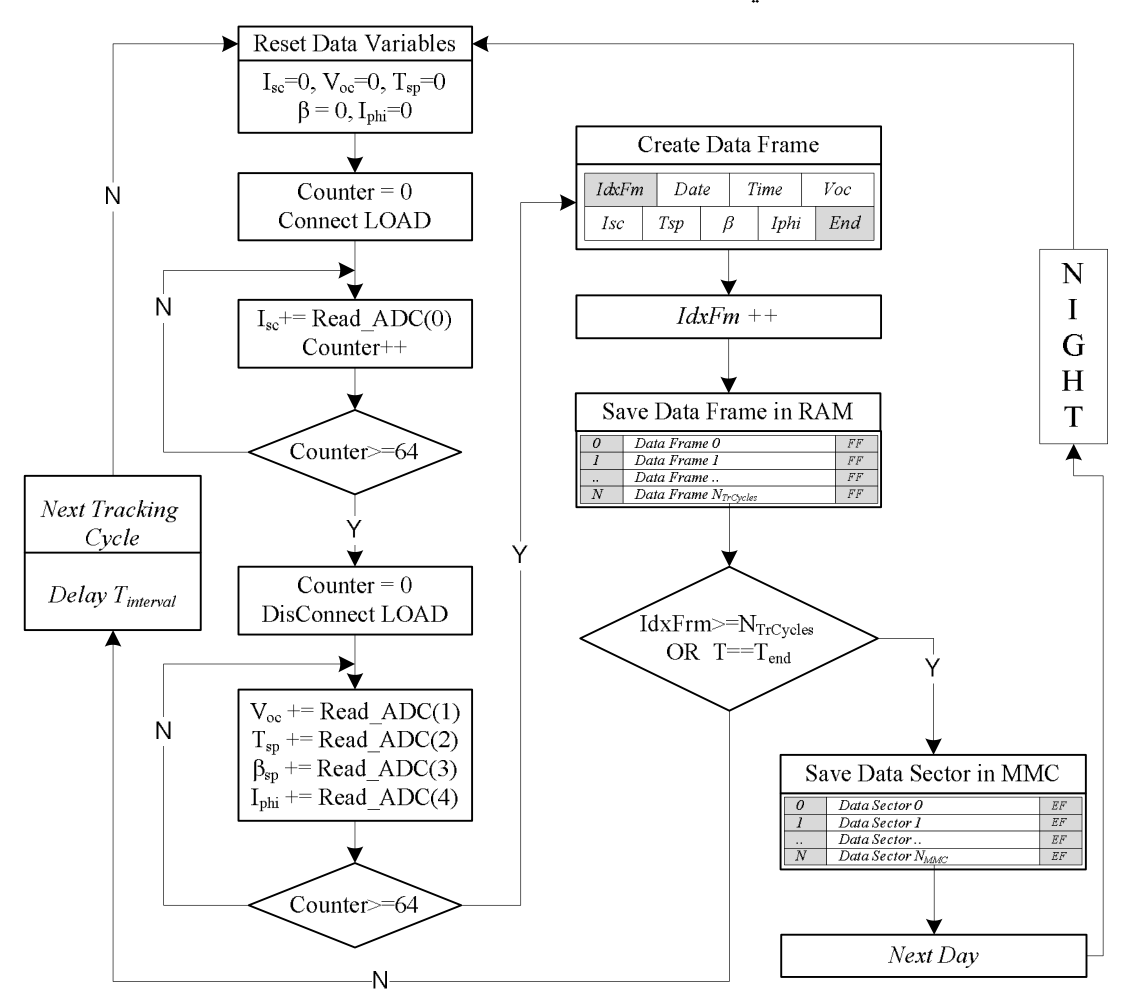
4- تشكيل إطار المعطيات Data Frame بواسطة المتحكم وتخزينه في ذاكرته الداخلية Internal RAM وزيادة عدّاد الأطر IdxFrm لدورة الملاحقة التالية.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

5- تكرار الخطوات(1، 2، 3، 4) السابقة بعد كل دورة ملاحقة حتى الوصول إلى نهاية اليوم T_{end} أو الوصول إلى القيمة العظمى لعدد مرات الملاحقة اليومية $N_{trCycles}$.

6- تخزين قطاع المعطيات المتشكِّل في ذاكرة المتحكم RAM في البطاقة الذاكريِّة MMC وتصفير الذاكرة RAM لتشكيل قطاع معطيات جديد لليوم التالي.

بعد الانتهاء من عملية تحصيل المعطيات من نظام الملاحقة وتخزينها في البطاقة الذاكريِّة MMC، يتم نقلها إلى الحاسب بواسطة دارة قارئة للبطاقة الذاكريِّة MMC Reader، لتحليلها ومعالجتها وتخزينها بالشكل النهائي.



الشكل(4-3) المخطط التدفقي العام لبرنامج تحصيل المعطيات

4.6. نقل البيانات إلى الحاسب Transferring Data to PC:

هناك عدة منافذ Ports في الحاسب تُستخدم لنقل المعطيات إليه وتصنف إلى نوعين

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

أساسيين منافذ للنقل التفرّعي مثل PCI, LPT ومنافذ للنقل التسلسلي مثل USB, COM, SATA, LAN، ولكل منفذ من هذه المنافذ خصوصيته وآلية محددة للتعامل معه. لقد استخدمت المنفذ التسلسلي Serial COM لنقل المعطيات من البطاقة الذاكريِّة إلى الحاسب لسهولة التعامل معه وعدم الحاجة إلى السرعة العالية في نقل المعطيات. قد لا يكون هذا المنفذ موجود وخاصة في الأجهزة الحديثة فيمكن تأمين الاتصال عن طريق المنفذ التسلسلي USB بواسطة ملائم ربط(COM-USB). تم تنفيذ دارة نقل البيانات بين البطاقة الذاكريِّة MMC والحاسب PC ووضع بروتوكول تخاطب محدد بين دارة القراءة والحاسب يخضع إليه كلا جهتي الاتصال.

يوضح الشكل(4-4) طريقة نقل البيانات من البطاقة الذاكريِّة إلى الحاسب، وكما هو ملاحظ لا يمكن نقل البيانات إلى الحاسب مباشرة نظراً لعدم التوافق بين نمطي الاتصال التسلسلي SPI, RS232.



الشكل(4-4) طريقة نقل البيانات من البطاقة الذاكريِّة إلى الحاسب

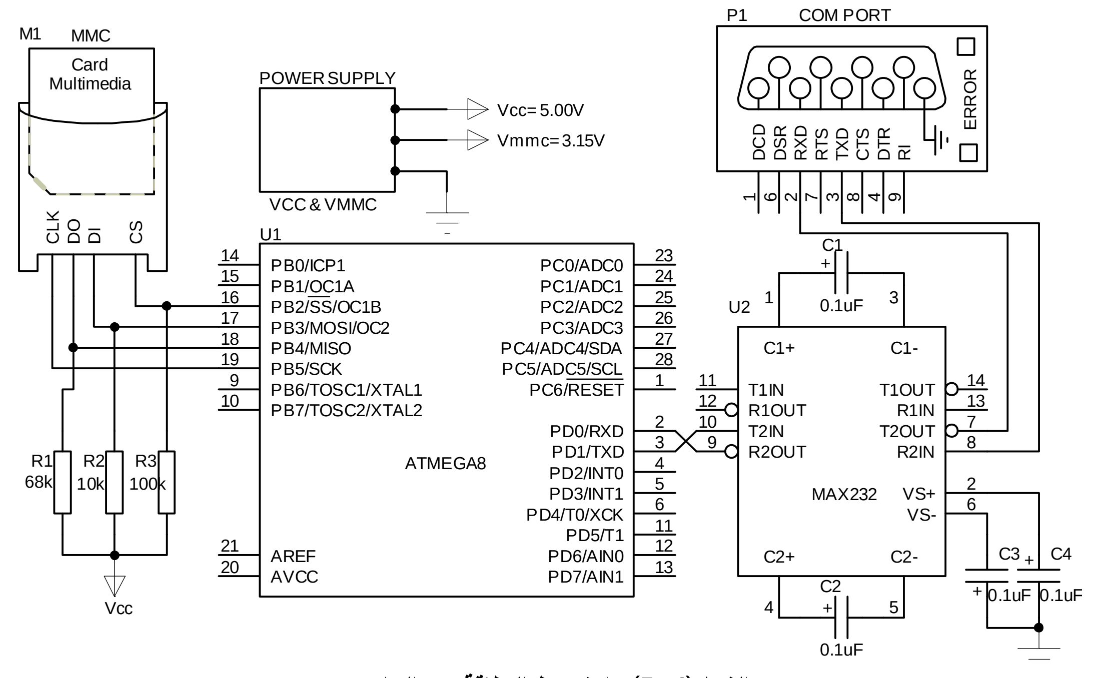
4.6.1. دارة ربط قارئة البطاقة الذاكريِّة مع الحاسب Interface MMC Reader with PC:

تتكون هذه الدارة بشكل رئيسي من المتحكم المصغر(ATMega8) حيث يحتوي على أكثر من منفذ تسلسلي(متزامن SPI – غير متزامن RS232) ودارة الملاءمة المنطقية(MAX232) ومن وحدة تغذية وقاعدة البطاقة M1 والمنفذ (COM PORT) الذي سيتم وصله مع المنفذ التسلسلي للحاسب كما هو موضح بالشكل(4-5).

يقرأ المتحكم المصغر معطيات القياس من البطاقة MMC بنمط الاتصال التسلسلي المتزامن SPI ويُرسلها إلى الحاسب عن طريق المنفذ التسلسلي بنمط الاتصال التسلسلي غير المتزامن RS232 حيث يستقبل الحاسب البيانات عن طريق برنامج تمت كتابته بلغة البرمجة C#.NET.

إن عملية إرسال المعطيات إلى الحاسب خاضعة لبروتوكول تخاطب محدد بين المتحكم القارئ للبطاقة الذاكرية والحاسب حيث تم بناء هذا البروتوكول للتخلص من أخطاء نقل المعطيات وأيضاً لتحقيق التزامن في النقل، سيتم ذكر هذا البروتوكول لاحقاً بشكل مفصّل.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(4-5) دارة ربط البطاقة مع الحاسب

4.6.2.بروتوكول التخاطب التسلسلي بين الحاسب والمتحكم المصغر:

4.6.2.1. مقدمة:

ظهرت فكرة بروتوكول التخاطب التسلسلي كحل لمشكلة نقل البيانات تسلسلياً بين الحاسب وذاكرة المعطيات MMC حيث استخدمتُ في التجارب الأولى طريقة نقل البيانات مباشرة دون تحديد لبداية ونهاية إطار البيانات وكان يتحسس الحاسب لنهاية سلسلة البيانات عن طريق زمن انتهاء الكتابة time out write على عازل الناقل التسلسلي.

إنَّ مساوئ هذه الطريقة هي عدم الانتظاميِّة في نقل البيانات حيث كان يرسلها المتحكم إلى الحاسب في وقت غير محدد ولا تحتوي على دلالات تحدد صحتها مثل(الطول – البداية – النهاية..) فقد كانت تحصل أخطاء في النقل مثل (عدد البايتات المرسلة لا يتطابق مع عدد البايتات المستقبلة وعدم دقة معدل الإرسال(Baud Rate) للمتحكم والحاسب والذي يؤدي إلى ظهور أخطاء نقل تراكمية وخاصة لدى إرسال كمية كبيرة من البيانات دفعة واحدة) وهذه الأخطاء تؤثر على تحليل نتائج القياس حيث ينتج عنها تحليل خاطئ لذلك كان من المهم جداً التحقق من صحة هذه البيانات وذلك عن طريق اكتشاف آلية اتصال منظمة تحوي على دلالات تحدد صحة هذه البيانات المرسلة، هذه الآلية هي بروتوكول الاتصال التسلسلي الذي تم تصميمه على غرار بروتوكولات الاتصال التسلسلية(USB).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

4.6.2.2. توصيف بروتوكول التخاطب التسلسلي:

يُنظم الحاسب عمليات الإرسال والاستقبال بينه وبين المتحكم حيث يلعب دور الجهاز السيد(Master) الذي يصدر الأوامر Commands أما المتحكم فيلعب دور الجهاز التابع(Slave) حيث يقوم بتنفيذ تلك الأوامر.

يعتمد هذا البروتوكول على نقل البيانات وبكميات محددة على شكل إطارات منظمة ومتتابعة Regular Sequential Frames وكل إطار يحتوي على عدة حقول ويخضع إلى الصيغة التالية:

- كلمة بداية الإطار Start Bytes.
- طول الإطار ويساوي إلى عدد البايتات المرسلة Number of sent Bytes.
- بايت الأمر Command Byte.
- سلسلة بيانات Data Series، أو بارامترات معينة Arguments مثل (استجابات ، عناوين، معطيات).
- كلمة نهاية الإطار End Bytes.

يتضح ذلك في الجدول(4-3).

Start Bytes	Length	Command Byte	Data Series/Args	End Bytes
0xAAAA	[0..530]	[0..255]	[1..250]	0xFFAAFF
[2-Bytes]	[2-Byte]	[1-Byte]	[1 to 512-Byte]	[3-Bytes]

الجدول(4-3) الصيغة العامة لإطار المعطيات

هناك نوعين من الأطر، أطر أوامر وأطر استجابات Commands And Response Frames وهي كالتالي:

E أطر أوامر Commands Frames:

هذه الأطر يتم إرسالها من الجهاز السيد Master إلى الجهاز التابع Slave ولها ثلاثة أنواع:

1- إطار أمر فقط وله الصيغة المبينة في الجدول(4-4).

Command (PC >>MC)	Start	Length	CMD	Ensure	None	End
	0xAAAA	9	0x5A	0x5A	0x00	0xFFAAFF

الجدول(4-4) صيغة إطار الأمر

2- إطار أمر كتابة المعطيات وله الصيغة المبينة في الجدول(4-5).

Command (PC >>MC)	Start	Length	CMD	Address	Data	End
	0xAAAA	$525B_{max}$	0x4B	0x0xxx	$513B_{max}$	0xFFAAFF

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الجدول(4-5) صيغة إطار كتابة المعطيات

3- **إطار أمر قراءة المعطيات** وله الصيغة المبينة في الجدول(4-6).

Command	Start	Length	CMD	Address	None	End
(PC >>MC)	0xAAAA	12	0x3E	0x0xxx	0x00	0xFFAAFF

الجدول(4-6) صيغة إطار قراءة المعطيات

E أطر استجابة Responses Frames:

هذه الأطر يتم إرسالها من الجهاز التابع Slave إلى الجهاز السيد Master كاستجابات لأوامر الجهاز السيد ولها أربعة أنواع:

1- **إطار استجابة أمر فقط** وله الصيغة التالية:

Response	Start	Length	CMD	Resp1	Resp2	End
(MC >>PC)	0xAAAA	9	0x5A	0 or 1	0 or 1	0xFFAAFF

الجدول(4-7) صيغة إطار استجابة أمر فقط

2- **إطار استجابة كتابة المعطيات** وله الصيغة المبينة في الجدول(4-8).

Response	Start	Length	CMD	WR-Rsp1	WR-Rsp2	End
(MC >>PC)	0xAAAA	9	0x4B	0 or 1	0 or 1	0xFFAAFF

الجدول(4-8) صيغة إطار استجابة كتابة المعطيات

3- **إطار استجابة قراءة المعطيات** وله الصيغة المبينة في الجدول(4-9).

Response	Start	Length	CMD	Address	Data	End
(MC >>PC)	0xAAAA	$525B_{max}$	0x3E	0x0xxx	$513B_{max}$	0xFFAAFF

الجدول(4-9) صيغة إطار استجابة قراءة المعطيات

4- **إطار الاستجابة الخاطئة** وله الصيغة المبينة في الجدول(4-10).

Error Resp.	Start	Error-RSP	Error-RSP	None	End
(MC >> PC)	0xAAAA	0xEE	0xEE	$513B_{max}$	0xFFAAFF

الجدول(4-10) صيغة إطار الاستجابة الخاطئة

تبين الجداول التالية مجموعة الأوامر والاستجابات الموافقة لها وفق بروتوكول التخاطب التسلسلي الذي سبق ذكره من أجل التعامل مع البطاقة الذاكريّة MMC، هناك مجموعة من الأوامر والاستجابات التي لها الشكل العام نفسه للإطر التي ذكرت أعلاه وهي:

1- **أمر التهيئة(الجاهزيّة) Ready Command**:

يفيد هذا الأمر في التحقق من صحة الاتصال التسلسلي بين المتحكم والحاسب، يرسل الحاسب هذا الأمر قبل أي أمر آخر وفق الإطار المبين في الجدول(4-11) ويعيد المتحكم الاستجابة الموافقة لهذا الأمر بصحة الاتصال أو بعدم صحته.

Command	Start(2B)	Length(2B)	CMD(1B)	Ensure(1B)	None(1B)	End(3B)

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

(PC >>MC)	0xAAAA	10	0x69	0x69	0x00	0xFFAAFF
Response	Start(2B)		CMD	RSP		End(3B)
(MC >> PC)	0xAAAA		0x69	[0 , 1]		0xFFAAFF

الجدول(4-11) صيغة إطار أمر التهيئة

2- **أمر التصفير MMC Reset**:

يفيد هذا الأمر في تصفير ذاكرة MMC وتهيئتها للعمل في نمط الاتصـــال SPI، يتضـــح هذا الأمر في الجدول(4-12).

Command (PC >>MC)	Start(2B)	Length(2B)	CMD(1B)	Ensure(1B)	None(1B)	End(3B)
	0xAAAA	10	0x5A	0x5A	0x00	0xFFAAFF
Response	Start(2B)		CMD(1B)	MMC_RSP		End(3B)
(MC >> PC)	0xAAAA		0x5A	[0 , 1]		0xFFAAFF

الجدول(4-12) صيغة إطار أمر التصفير

3- **أمر القراءة من Read Command from MMC**:

يفيد هذا الأمر في قراءة البيانات من ذاكرة الـــ MMC وتخزينها في ذاكرة المتحكم MC ومن ثم إرسال هذه البيانات إلى الحاسب على شكل إطارات محددة الطول عبر المنفذ التسلسلي.

Read 512B from MC's SRAM [MC>>PC] RD1							
Command	Start(2B)	Length(2B)	CMD(1B)	*Start Address(4B)**			End(3B)
(PC >>MC)	0xAAAA	12	0x4B	00			0xFFAAFF
Response	Start		RSP	None	SBD	Data	End(3B)
(MC >> PC)	0xAAAA		0x4B	1	0xE5	512B	0xFFAAFF
Read 512B from MMC [MMC>>PC] RD2							
Command	Start(2B)	Length(2B)	CMD(1B)	Start Address HL(4B)			End(3B)
(PC >>MC)	0xAAAA	6-Bytes	0x3E	0x00xxxxxx			0xFFAAFF
Response	Start		RSP	MMC_rsp	SBD	Data	End(3B)
(MC >> PC)	0xAAAA		0x3E	[0 or 1]	0xE5	512 B	0xFFAAFF

الجدول(4-13) صيغة إطار أمر قراءة ذاكرة المتحكم(RD1) والبطاقة الذاكرية(RD2)

4- **أمر الكتابة على Write Command in MMC**:

يفيد هذا الأمر في كتابة البيانات المرسلة من الحاسب في ذاكرة المـــتحكم أولاً ومـــن ثـــم كتابتها في ذاكرة الـــ MMC ثانياً عند العنوان المحدد في الإطار.

Write 512B in MC's SRAM [PC>>MC] WR1							
Command	Start(2B)	Length(2B)	CMD(1B)	Start Addr(4B)	SBD	Data	End(3B)
(PC >>MC)	0xAAAA	525	0x2C	00	0xE5	512B	0xFFAAFF
Response	Start		RSP(1B)	Ack|Nack(1B)			End(3B)
(MC >> PC)	0xAAAA		0x2C	[0 or 1]			0xFFAAFF
Write 512B in MMC [PC>>MMC] RW2							
Command	Start(2B)	Length(2B)	CMD(1B)	Start Addr (4B)	SBD	Data	End(3B)
(PC >>MC)	0xAAAA	525	0x1D	0x0xxx	0xE5	512B	0xFFAAFF
Response	Start(2B)		RSP(1B)	Ack|Nack(1B)			End(3B)
(MC >> PC)	0xAAAA		0x1D	[0 or 1]			0xFFAAFF

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الجدول(4-14) صيغة إطار أمر الكتابة في ذاكرة المتحكم(WR1) والبطاقة الذاكرية(WR2)

5- **استجابة الإطار الخاطئ Illegal Frame**:

يتم إرسال هذا الاستجابة من المتحكم إلى الحاسب عندما يكون الأمر المرسل من الحاسب أمراً خاطئاً أو غير مفهوماً.

Error Resp. (MC >> PC)	Start(2B)	RSP(1B)	Ack|Nack	End
	0xAAAA	0xEE	0	0xFFAAFF

الجدول(4-15) صيغة إطار الاستجابة الخاطئة

جدول الأوامر والاستجابات Commands & Responses Table:

تسلسل الأمر	إسم الأمر	رقم الأمر	رقم الاستجابة
1	Ready تهيئة	0x69	0x69
2	Reset MMC تصفير	0x5A	0x5A
3	Write PC >>MC كتابة	0x4B	0x4B
4	Write MC >> MMC كتابة	0x3E	0x3E
5	Read MMC >> MC قراءة	0x2C	0x2C
6	Read MC >> PC قراءة	0x1D	0x1D
7	Illegal Frame الإطار الخاطئ	None	0xEE

الجدول(4-16) مجموعة أوامر التخاطب بين الحاسب والمتحكم

كل أمر يُرسل من الحاسب يُتبع باستجابة من قبل المتحكم وجميع أوامر التحكم (القراءة، الكتابة، التصفير، التهيئة، ..) تُرسل من قبل الجهاز السيد (الحاسب) ويقوم بتنفيذها الجهاز التابع (المتحكم) مرسلاً إليه الاستجابة بالقبول أو الرفض.

لدى استقبال المتحكم الإطار المرسل من الحاسب يقوم بتحليله للتأكد من صحته إن كان صحيحاً يتم تنفيذه أما إن كان خاطئاً يتم رفضه وفي كلا الحالتين يتم إرسال الاستجابة بالقبول أو الرفض إلى الحاسب لإرسال الإطار التالي أو إعادة إرسال الإطار السابق إن كان خاطئاً.

4.6.3.مبررات بروتوكول التخاطب التسلسلي:

يعود تصميم بروتوكول التخاطب التسلسلي الذي تم وصفه مسبقاً للأسباب التالية:

1- تجنُّب الوقوع في أخطاء نقل البيانات تسلسلياً وتحقيق الانتظامية في نقلها.

2- إمكانية التحقق من صحة البيانات المرسلة عن طريق إرسالها وفق أطر منظمة لها بداية ونهاية وطول محدد.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

3- استخدام نمط المصافحة في عملية نقل البيانات حيث يقوم الحاسب بدور الجهاز السيد الآمر(Master) ويقوم المتحكم الممثل لدارة نقل البيانات بدور الجهاز التابع المنفذ(Slave).

4- في حال عدم فهم الجهاز التابع(Slave)أمر الجهاز السيد(Master)، عندها يعيد له إطار الاستجابة الخاطئة.

5- تحقيق نوعٍ ما من التزامن بين المرسل والمستقبل.

4.6.4.مبدأ عمل بروتوكول التخاطب التسلسلي:

تتلخص آلية عمل بروتوكول التخاطب التسلسلي المبين بالمخططات التدفقية في الأشكال(4-6، 4-7) ومن **طرف المتحكم** بالخطوات التالية:

1- تهيئة عامة وتتضمن:

- تهيئة المنفذ التسلسلي SPI ومقاطعاته للاتصال مع البطاقة الذاكرية MMC.
- تهيئة المنفذ التسلسلي Serial Port ومقاطعاته للاتصال مع الحاسب PC.
- تهيئة مصفوفة إطار الاستقبال والمتحولات اللازمة للاستقبال مثل(متحول عدد البايتات المستقبلة وعلم نهاية الاستقبال ومتحول تحسس نهاية الإطار).

2- تنفيذ المتحكم البرنامج الرئيسي وبنفس الوقت ترقُّب مقاطعة الاستقبال التسلسلية من الحاسب فعند كل مقاطعة، يقوم بالخطوات التالية:

a. زيادة عداد بايتات مصفوفة الاستقبال.

b. تخزين البايت المستقبل في مصفوفة الاستقبال.

c. التحقق من عدد البايتات المستقبل.

d. التحقق من بايتات نهاية سلسلة المعطيات المستقبلة.

e. في حالة تحقق أحد الشرطين في الخطوات(d, c) يحجب المتحكم مقاطعة الاستقبال التسلسلي ويقوم بتفعيل علم نهاية الاستقبال RecFlag='1'، وفي حالة عدم تحقق أحد الشرطين يكرر الخطوات الأربعة السابقة عند كل مقاطعة استقبال.

3- تحقق المتحكم في البرنامج الرئيسي من علم نهاية الاستقبال(RecFlag) ففي حالة تفعّله، يقوم باستدعاء إجراء تحليل إطار المعطيات(Analysis_RecFrame) المستقبل والمخزن في مصفوفة الاستقبال.

4- بعد أن يحلل المتحكم إطار المعطيات يشكِّل إطار الاستجابة المناسب ويرسله إلى الحاسب عبر المنفذ التسلسلي Serial Port. في حالة حصول خطأ ما في الاستقبال مثل(عدد البايتات

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

غير صحيح أو أمر غير معروف..) يشكِّل المتحكم إطـار الاسـتجابة الخاطئـة (Illegal Frame) ويرسله إلى الحاسب.

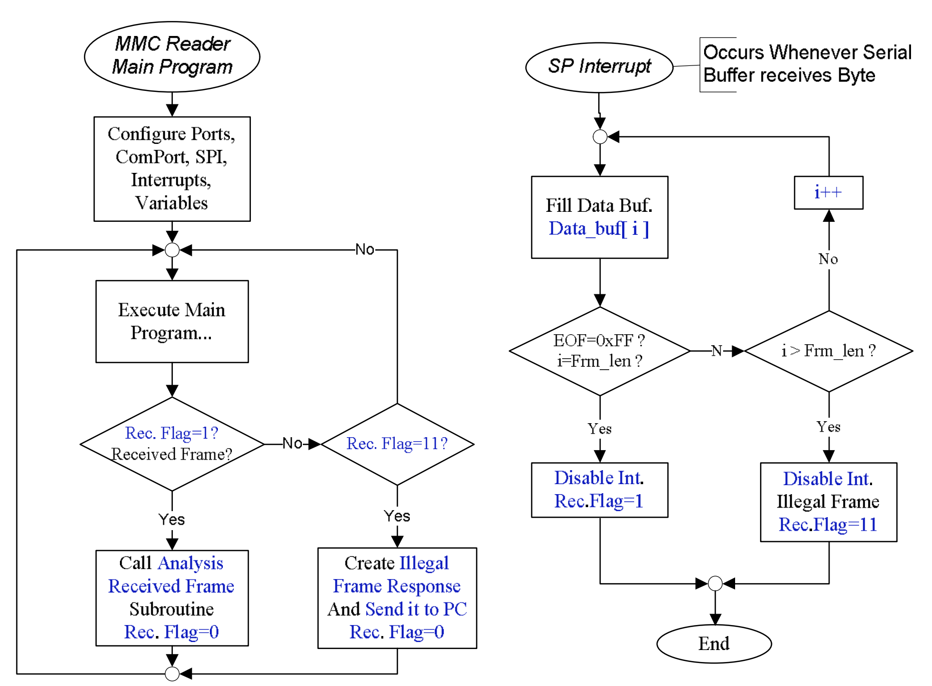
5- يصفِّر المتحكم علم الاستقبال وعدَّاد البايتات ومصفوفة الاستقبال من أجل استقبال أمر جديد.

تم تنفيذ هذا البروتوكول للتحكم بالبطاقة الذاكريِّة MMC حيث يتخاطـب المـتحكم مـع البطاقة الذاكريِّة عبر المنفذ التسلسلي SPI ويقوم بتنفيذ أحد الأوامر المرسلة إليـه مـن الحاسـب المبينة في الجدول(4-17).

§ أمر الجاهزيَّة والتحقق من صحة الاتصال التسلسلي	§ Ready
§ أمر تهيئة البطاقة MMC للعمل في نمط الاتصال SPI	§ Reset MMC
§ أمر القراءة من البطاقة MMC.	§ Read from MMC
§ أمر الكتابة على البطاقة MMC.	§ Write to MMC
§ أوامر أخرى مثل تحديد حجم القطاع ومحي البطاقة..	§ Other Commands ...

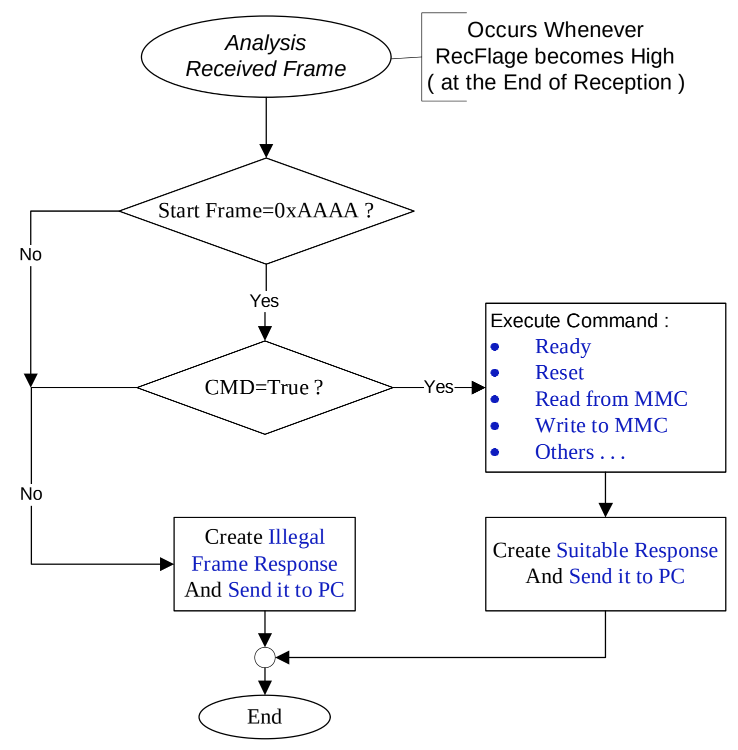
جدول(4-17) مجموعة أوامر التخاطب بين الحاسب والمتحكم

لكل أمر من الأوامر المبينة في الجدول(4-17) استجابة موافقة مناسبة تُرسل من المـتحكم إلـى الحاسب.

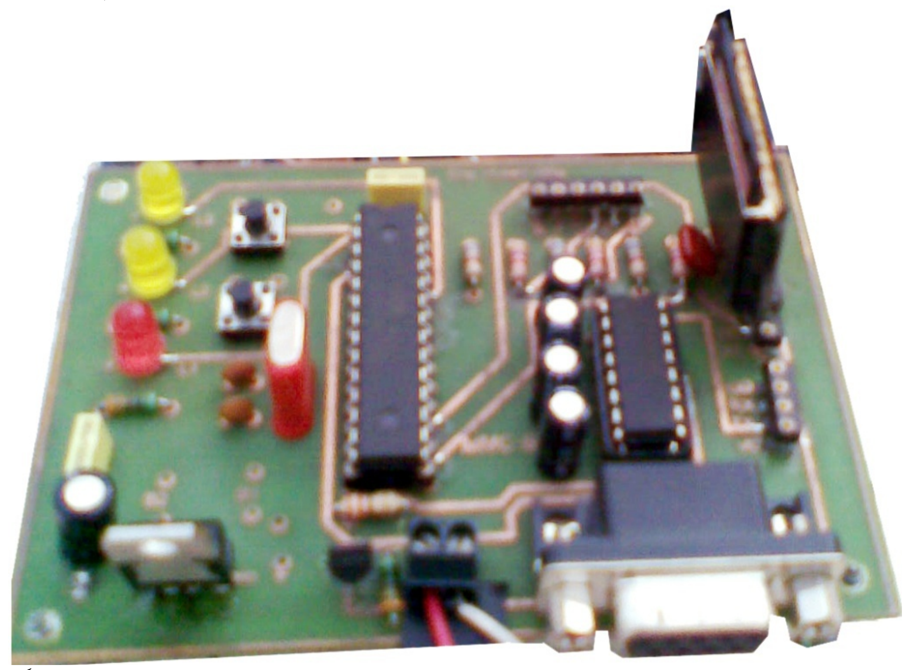


الشكل(4-6) المخطط التدفقي لكلٍ من البرنامج الرئيسي وبرنامج المقاطعة لمتحكم القراءة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit




الشكل(4-7) المخطط التدفقي لبرنامج تحليل إطار الاستقبال من قبل المتحكم


الشكل(4-8) صورة دارة الملاءمة لربط البطاقة الذاكريّة مع الحاسب التي تم تنفيذها عملياً

تمت كتابة هذا البروتوكول وتخزينه في ذاكرة متحكم القراءة MMC Reader وتم التحقق منه عملياً والتأكد من عمله وقد حقق المطلوب فقد أصبحت عملية نقل البيانات مضبوطة وفي حال أي

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

خطأ يظهر من خلال تشخيص الأخطاء الذي يقوم بها الحاسب بعـد تحليلـه لإطـار المعطيـات المشكل من قبل المتحكم(إطار الاستجابة) يعيد إرسال الأمر ثانية(إطار الأمر) إلى متحكم القراءة.

في **طرف الحاسب** عندما يستقبل الحاسب أطر الاستجابة من متحكم القراءة يقوم بما يلي:

1- استقبال إطار الاستجابة المرسل من قبل المتحكم خلال زمن محدد.

2- تحليل إطار الاستجابة والتحقق من الاستجابة المرسلة ضمن الإطار فإذا كانت صحيحة يقـوم بالمطلوب، وإلا يكرر إرسال الأمر نفسه للمتحكم عدة مرات حتى يستقبل الاستجابة الصحيحة لتنفيذ الأمر المطلوب فإذا لم يحصل على الاستجابة الصحيحة يظهر رسالة خطأ بالاستقبال.

3- تخزين المعطيات المستخلصة من إطار المعطيات ضمن ملفات مشفرة ثنائيـاً Binary Files وملفات نصية قابلة للقراءة Text Files.

4- إن بنية قطاع المعطيات Data Structure أو الملف الثنائي المُنْشَئْ يتكون من ما يلي:

رأس الملف Header	جسم الملف (المعطيات) Body	نهاية الملف End
تاريخ الإنشاء،حجم الملف	المعطيات المفيدة	كلمة نهاية

الجدول(4-18) بنية ملف المعطيات أو قطاع المعطيات

5- كل ملف يحتوي على معطيات يوم كامل مرتبة ضمنه وفق الإطار المبين بالجدول(4-19).

Index	Date	Time	Voc	Angle	Temp	Isc	Light
1	07/30	06:17	22.95	-7.9	25.6	0.19	1.16

الجدول(4-19) ترتيب المعطيات في صف المعطيات

4.6.5. إمكانيات برنامج التخاطب بين الحاسب والمتحكم وواجهة التفاعل مع المستخدم:

ذكرنا سابقاً أن التحكم بمتحكم القراءة يتم بشكل كامل عن طريق الحاسـب حيـث يلعـب الحاسب دور السيد الذي يرسل الأوامر إلى المتحكم الذي يلعب دور التابع المنفـذ ينفـذ أوامـر الحاسب ويرد له الاستجابة المناسبة للأمر. معظم الأوامر التي يرسلها الحاسـب إلـى المـتحكم موجَّهة للبطاقة الذاكريّة، وهناك بعض الأوامر متعلقة بالمتحكم ذاته. يتميّز برنامج التخاطب بـين الحاسب والمتحكم بالإمكانيّات التالية:

1- فتح الملفات الثنائية وتخزينها على شكل ملفات ثنائيّة أو نصيّة.

2- التحقق من جاهزيّة الاتصال التسلسلي بإرسال الأمر التالي:

Ready Command()

3- قراءة معطيات قطاع محدد من البطاقة الذاكريّة عند عنوان محدد وذلك بإرسال الأمر التالي:

Read Primary Sector(SPECIFIC_ADDRESS)

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

4- كتابة المعطيات في البطاقة ضمن قطاع محدد عند عنوان محدد بإرسال الأمر التالي:

Write Sector To MMC(SPECIFIC_ADDRESS)

5- قراءة عدة قطاعات بالوقت ذاته وذلك بإرسال الأمر التالي:

Read Sectors(INITIAL_ADDRESS, NUMBER OF SECTORS)

6- تحديد حجم القطاع بإرسال الأمر التالي:

Set Size Sector(NEW_SIZE)

7- مسح البطاقة الذاكريِّة بإرسال الأمر التالي:

Erase(ADDRESS1, ADDRESS2)

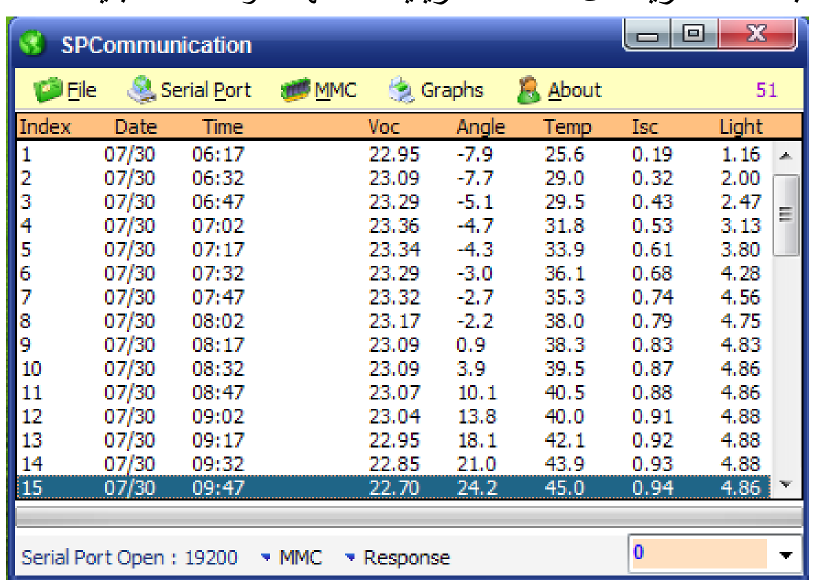
8- عرض معلومات عن البطاقة بإرسال الأمر التالي:

MMCInfo()

9- رسم منحنيات كلاً من الاستطاعة وتيار الدارة القصيرة وجهد الدارة المفتوحة ومقاومة الأمثلية لخرج اللوح الشمسي ودرجة الحرارة مع الزمن ومع درجة الحرارة، وتخزين هذه المنحنيات على شكل صور (*.JBG, *.EMF, *.BMP).

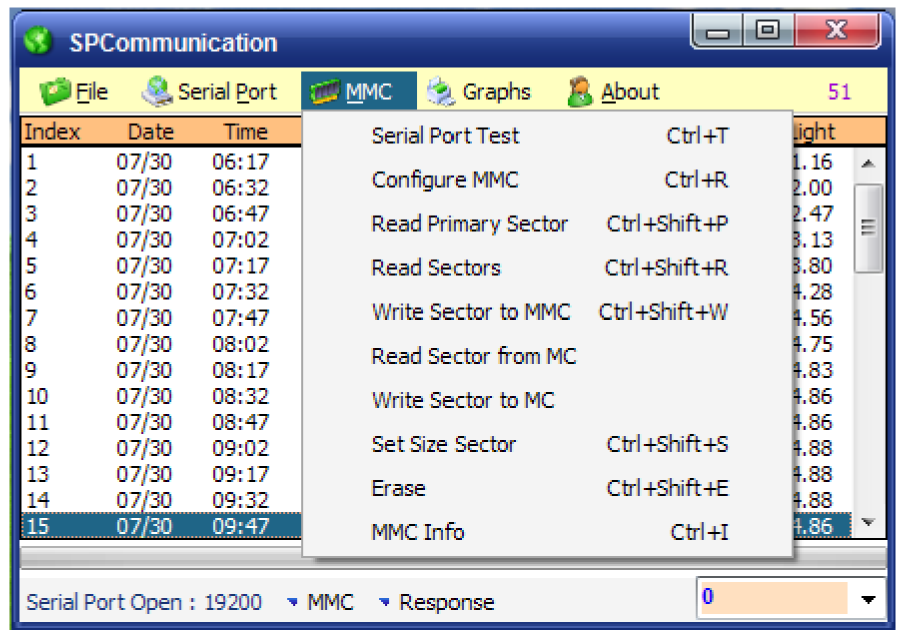
10- عرض معلومات حول البرنامج ومصمِّم البرنامج عن طريق الزر About.

في ما يلي صور لبرنامج التخاطب بين الحاسب والمتحكم حيث يبين الشكل(4-9) المعطيات المحملة من البطاقة الذاكريةMMC في الثلاثين من شهر أيلول من الموقع الذاكري الموافق لذلك، أما الشكل(4-10) فيبين مجموعة أوامر البطاقة MMC، أما الشكل(4-11) الأخير فيُظهر معلومات عن البطاقة الذاكرية مثل السعة التخزينية المستهلكة والسعة المتبقية.

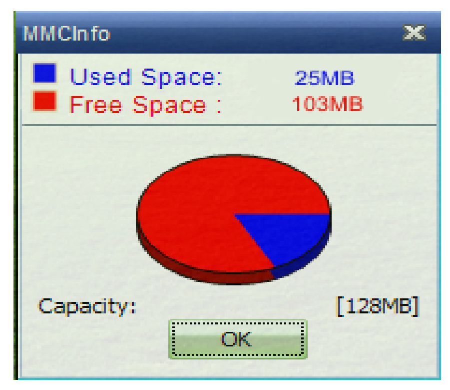


الشكل(4-9) واجهة برنامج التخاطب بين الحاسب والمتحكم

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(4-10) مجموعة الأوامر الموجهة إلى البطاقة MMC



الشكل(4-11) معلومات عن البطاقة الذاكرية MMC

4.7. فوائد نظام تحصيل المعطيات في منظومة الملاحقة:

1- دراسة تغيرات استطاعة اللوح الشمسي كتابع للزمن وذلك من أجل نظام الملاحقة والنظام الثابت والتحقق من المردود في الحالتين.

2- دراسة تغيرات جهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة للوح الشمسي كتابع للزمن.

3- دراسة تأثير تغير الفاصل الزمني $T_{interval}$ على مردود اللوح الشمسي.

4- دراسة تغيرات زاوية الدوران(السمت β) كتابع للزمن.

5- دراسة تأثير درجة الحرارة على مردود اللوح الشمسي.

6- دراسة تأثير الغبار على مردود اللوح الشمسي.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الفصل الخامس

عرض نتائج البحث والمناقشة

5.1. مقدمة 64
5.2. المقادير المقاسة والمقادير المحسوبة 64
5.3. حساب الضياعات والمردود اليومي 67
5.4. عرض النتائج 67
5.5. النتائج والمناقشة 78

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

5.1. مقدمة:

عرضنا في الفصول السابقة الدراسة التصميمية والوصف الفيزيائي لنظام الملاحقة الذي تم تحقيقه وتنفيذه عملياً حيث تألف هذا النظام من ثلاثة أقسام رئيسية وهي:

1- القسم الميكانيكي: ويتمثل بالقاعدة الميكانيكية المتحركة الحاملة للوح الشمسي.

2- القسم الإلكتروني: ويتمثل بالدارات الإلكترونية ابتداءً من دارات الحساسات وما يتبعها من دارات ملاءمة وانتهاءً بدارات التحكم والقيادة.

3- القسم البرمجي: ويتمثل بخوارزمية الملاحقة ونظام تحصيل المعطيات وبروتوكول التخاطب التسلسلي بين الحاسب والمتحكم.

لقد تم تشغيل هذا النظام خلال شهري تموز وآب في مدينة تل رفعت حيث عمل في نمط الملاحقة والنمط الثابت وقد تم أخذ نتائج القياس خلال تلك الفترة وتخزينها في ذاكرة معطيات النظام(MMC)، وتم نقل هذه المعطيات إلى الحاسب لمعالجتها وتخزينها بالشكل النهائي ضمن ملفات معطيات ومنحنيات صوريِّة.

5.2. المقادير المقاسة والمقادير المحسوبة:

1- المقادير المُقاسة هي:

- جهد الدارة المفتوحة للوح الشمسي V_{oc}
- تيار الدارة القصيرة I_{sc}
- جهد الخرج للحساس الحراري V_{Tmp}
- جهد خرج الحساس الزاوي V_{θ}
- جهد خرج الحساس الضوئي V_{ph}

2- المقادير المحسوبة هي: $P_{mpp}, \eta_T , T, \theta$.

- **الاستطاعة الأعظمية $\mathbf{P_{mpp}}$**:

تحسب من العلاقة (5-1) التالية:

$$P_{mpp} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} \qquad (1-5)$$

حيث FF: هو عامل الملئ للوح الشمسي.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

- **المردود η_T** وهو مقدار الزيادة في الاستطاعة الذي يحققه النظام المتحرك نسبةً إلى النظام الثابت ويتم حسابه من خلال حساب مساحتي كلٍ من منحني الاستطاعة للنظام الثابت والنظام المتحرك بإجراء تكامل منحنيات الاستطاعة بالنسبة للزمن وفق العلاقة التالية: (2-5)

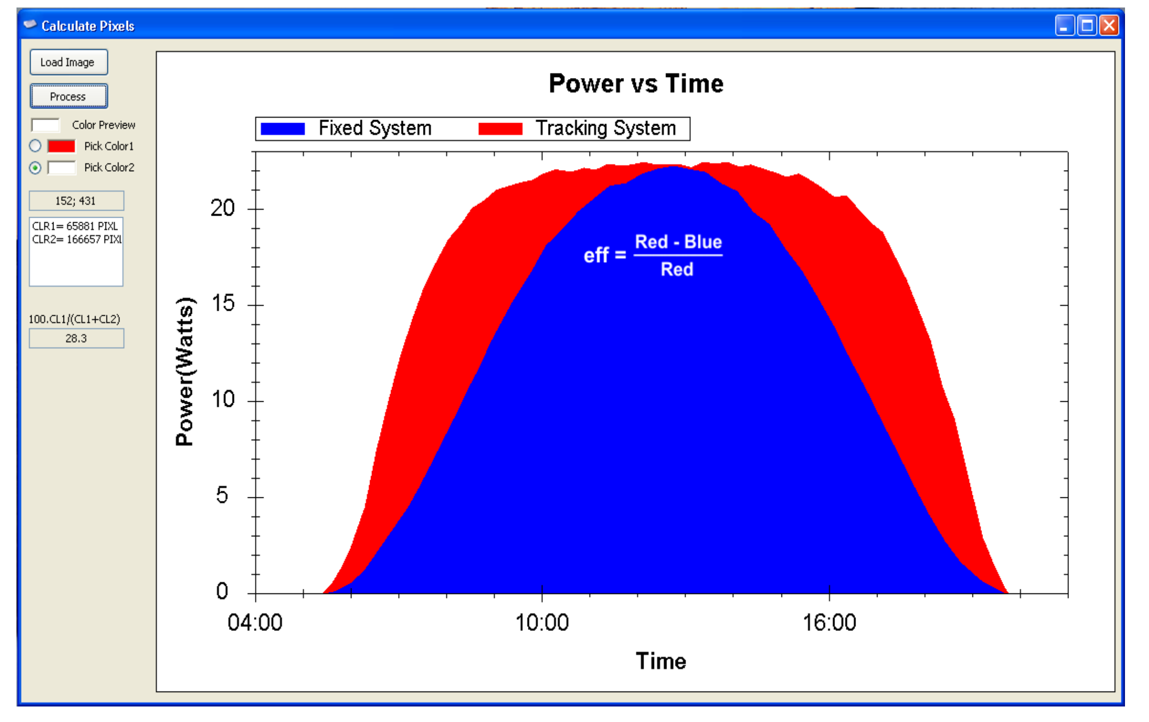
$$h_T = \frac{\int_{T_{Start}}^{T_{End}} (P_{track} - P_{fixed}) \cdot dt}{\int_{T_{Start}}^{T_{End}} P_{track} \cdot dt} \cdot 100\% \qquad (2-5)$$

حيث P_{track}, P_{fixed}: هي عينات الاستطاعة في النظام الثابت والمتحرك على التوالي.

لقد تم حساب المردود بواسطة برنامج تحليل لوني قمتُ بكتابته بلغة C# والشكل (5-1) يبين واجهة البرنامج وقد حُمِّلتْ إليه صورة منحنيات الاستطاعة المأخوذة بتاريخ (30-31/8) حيث يحصي هذا البرنامج عدد البكسلات اللونية للمنطقة الحمراء(مقدار الزيادة في المردود نتيجة عملية الملاحقة) وعدد بكسلات المنطقة الزرقاء ويقوم بحساب المردود من خلال العلاقة(5-3):

$$h_T = \frac{PX_{RED}}{PX_{RED} + PX_{BLUE}} \qquad (3-5)$$

$$h_T \approx 28.3\%$$



الشكل(5-1) واجهة برنامج حساب المردود

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

- **درجة حرارة اللوح الشمسي T_{sp}:**

يتم حساب درجة حرارة اللوح الشمسي بالاعتماد على جهد خرج الحساس الحراري V_{Tmp} من خلال العلاقة (5 – 4) التالية:

$$T(C) = \frac{V_{Tmp}}{S_T} = \frac{V_{Tmp}}{50 \cdot 10^{-3}} \qquad (4-5)$$

حيث S_T: هي حساسية الحساس الحراري وتساوي إلى 50mV/ºC

- **زاوية دوران اللوح الشمسي(زاوية السمت θ):**

يتم حساب هذه الزاوية خلال العلاقة (5 - 5) التالية:

$$q = k \cdot V_q + q_0 \qquad (5-5)$$

حيث k: وهو عامل التحويل من جهد إلى زاوية وواحدته (Deg./V).

θ_0: تمثل الزاوية الابتدائية للوح الشمسي.

باعتبار أن الحساس الزاوي المستخدم هو عبارة عن مقاومة متغيرة بشكل خطي.

مواصفات اللوح الشمسي المستخدم في المنظومة عند إشعاع شمسي ($1000\ W/m^2$):

المادة المصنع منها	السيليكون غير المتبلور حسب المردود
المردود التقريبي	7%
الاستطاعة الأعظمية	22W
عامل الملئ التقريبي	- -
جهد الدارة المفتوحة	24V
تيار الدارة القصيرة	1A
أبعاد اللوح	95cm × 34cm
وزن اللوح	5Kg

الجدول(5-1) مواصفات اللوح الشمسي المستخدم في المنظومة

5.3. حساب الضياعات والمردود اليومي:

التكاليف الثابته	300$	300$
الاستطاعة الأعظمية المستهلكة في التحريك	50mA × 12V	0.6W
الزمن المستغرق لإتمام دورة الملاحقة	≈ 4sec	≈ 4sec
عدد مرات الملاحقة اليومية (11ساعة)	11 h x 6 times/h	72 times

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

الاستطاعة اليومية المستهلكة للتحريك	$0.6W \cdot \frac{4\sec}{3600\sec/h} \times 72$	0.05Wh
الاستطاعة **الكلية الوسطية اليومية** للنظام **المتحرك**	19.8 W x 11 h	217.8Wh
الاستطاعة **الكلية الوسطية اليومية** للنظام **الثابت**	15 W x 11 h	165Wh
الربح **الوسطي اليومي** الذي يحققه نظام الملاحقة	217.8 - 165	52.8Wh
النسبة المئوية الأعظمية للضياعات بالنسبة للربح	0.05 × 100 / 52.8	0.1%

الجدول(5-2) الدراسة الاقتصادية للمنظومة

5.4. عرض النتائج:

يبين الجدول(5-1) معطيات القياس لنظام الملاحقة الكهروشمسي من أجل زاوية ميل بالنسبة للأفق (27ْ) /زاوية أمثلية عملياً/ وفاصل زمني بين كل دورتي ملاحقة $T_{interval}$ = 15min مأخوذةً بتاريخ (2009/8/14) حيث يظهر لنا جميع المقادير المقاسة بالنسبة للزمن من الساعة (15 :6) وحتى الساعة (15 :17).

Index	Time	Voc[V]	Isc[A]	Temp[C]	Angle[Deg]	V_{ph}[V]
1	6:15	21.68	0.07	22.9	0.0	0.36
2	6:30	22.64	0.19	26.1	0.0	1.09
3	6:45	23.02	0.30	27.8	0.0	1.70
4	7:00	23.20	0.40	30.1	0.1	2.28
5	7:15	23.24	0.48	31.6	0.4	2.80
6	7:30	23.39	0.56	31.5	0.7	3.39
7	7:45	23.34	0.64	34.0	1.4	3.89
8	8:00	23.26	0.69	34.3	4.3	4.10
9	8:15	23.22	0.74	36.5	5.9	4.29
10	8:30	23.12	0.78	37.3	6.5	4.45
11	8:45	23.17	0.82	37.0	7.2	4.67
12	9:00	23.12	0.84	39.0	9.9	4.67
13	9:15	23.09	0.85	39.2	14.8	4.53
14	9:30	22.90	0.88	41.9	17.2	4.70
15	9:45	22.97	0.90	40.5	18.7	4.74
16	10:00	22.75	0.91	44.2	20.5	4.65
17	10:15	22.83	0.92	43.3	25.1	4.69
18	10:30	22.78	0.92	43.9	29.3	4.68
19	10:45	22.73	0.93	43.2	31.7	4.62
20	11:00	22.58	0.94	48.2	35.5	4.63
21	11:15	22.46	0.93	46.9	39.0	4.50

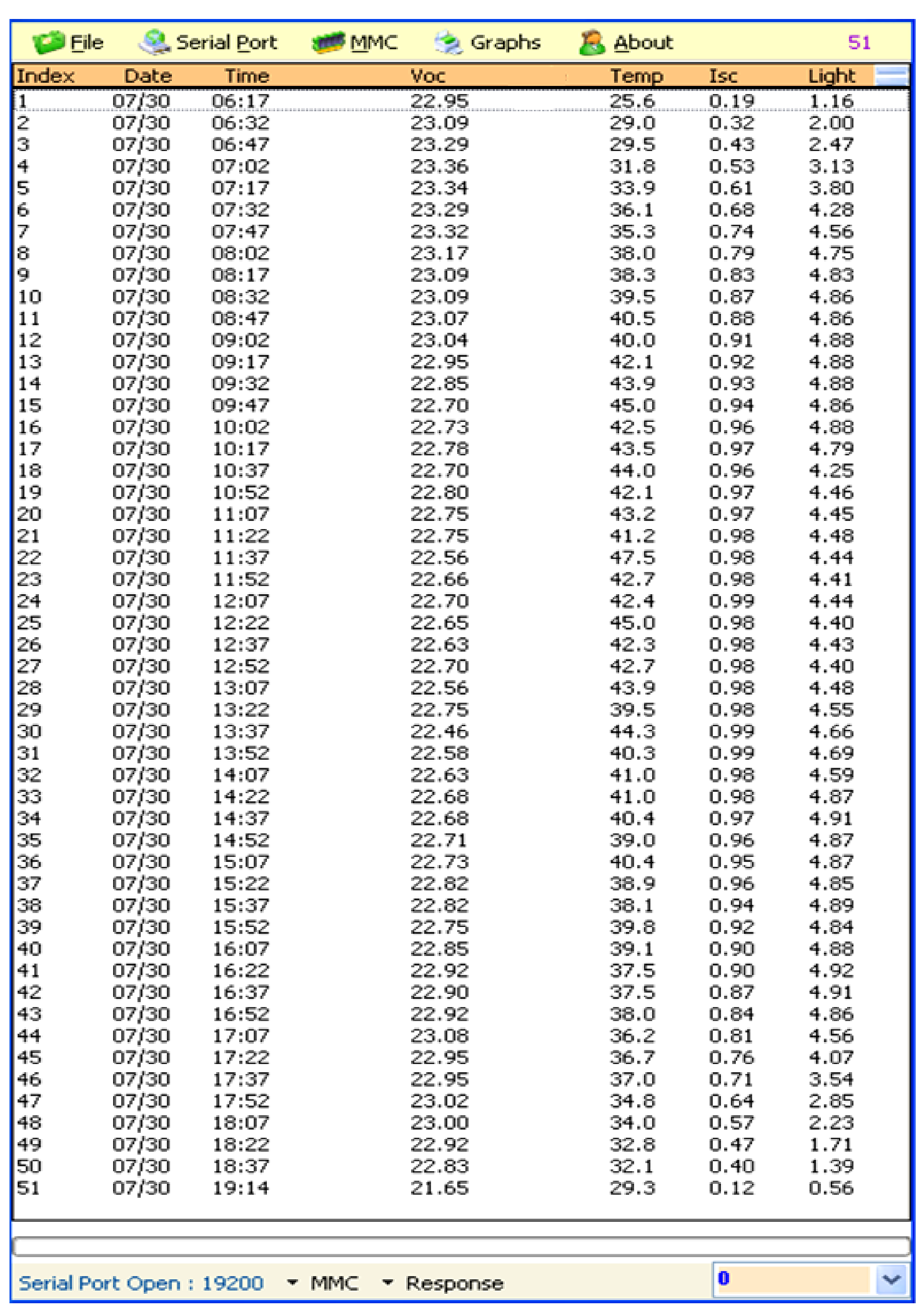
All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

22	11:30	22.51	0.94	45.4	44.3	4.48
23	11:45	22.41	0.95	46.7	45.7	4.53
24	12:00	22.48	0.94	46.3	52.3	4.44
25	12:15	22.35	0.95	48.2	53.5	4.54
26	12:30	22.35	0.96	47.7	58.2	4.59
27	12:45	22.43	0.96	48.2	62.5	4.66
28	13:00	22.36	0.96	46.7	66.2	4.70
29	13:15	22.04	0.95	48.5	69.5	4.63
30	13:30	22.29	0.95	47.1	73.1	4.75
31	13:45	22.19	0.96	44.4	78.2	4.75
32	14:00	22.34	0.94	45.1	80.3	4.85
33	14:15	22.41	0.95	42.3	83.1	4.86
34	14:30	22.41	0.95	42.5	86.1	4.86
35	14:45	22.42	0.95	41.2	89.2	4.87
36	15:00	22.34	0.94	43.1	93.0	4.84
37	15:15	22.39	0.91	41.5	94.2	4.88
38	15:30	22.48	0.90	40.2	95.0	4.89
39	15:45	22.51	0.78	41.4	97.5	4.85
40	16:00	22.58	0.86	39.9	99.0	4.82
41	16:15	22.57	0.84	39.7	102	4.75
42	16:30	22.58	0.81	39.7	105	4.60
43	16:45	22.56	0.76	40.1	108	4.42
44	17:00	22.65	0.71	38.2	110	4.08
45	17:15	22.65	0.66	37.4	113	3.62
46	17:30	22.58	0.60	37.1	115	3.04
47	17:45	22.53	0.53	37.3	118	2.5
48	18:00	22.53	0.43	34.9	125	1.95
49	18:15	22.39	0.34	34.0	130	1.52
50	18:30	22.09	0.24	32.8	130	1.23
51	18:45	21.38	0.12	32.1	130	0.56
52	19:00	20.04	0.05	30.6	130	0.15
53	19:15	16.54	0.01	29.5	130	0.03

الجدول(5-3) معطيات المنظومة في نمط الملاحقة والمأخوذة في (2009/8/14)

يُبيِّن الجدول (5-2) والأشكال(5-2، 5-3، 5-4، 5-5) النتائج التي حصلنا عليها (المعطيات والمنحنيات الزمنية) في حالة عمل المنظومة في نمط الملاحقة وبزاوية ميل بالنسبة للأفق (27ْ) مأخوذةً بتاريخ (2009/7/30).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



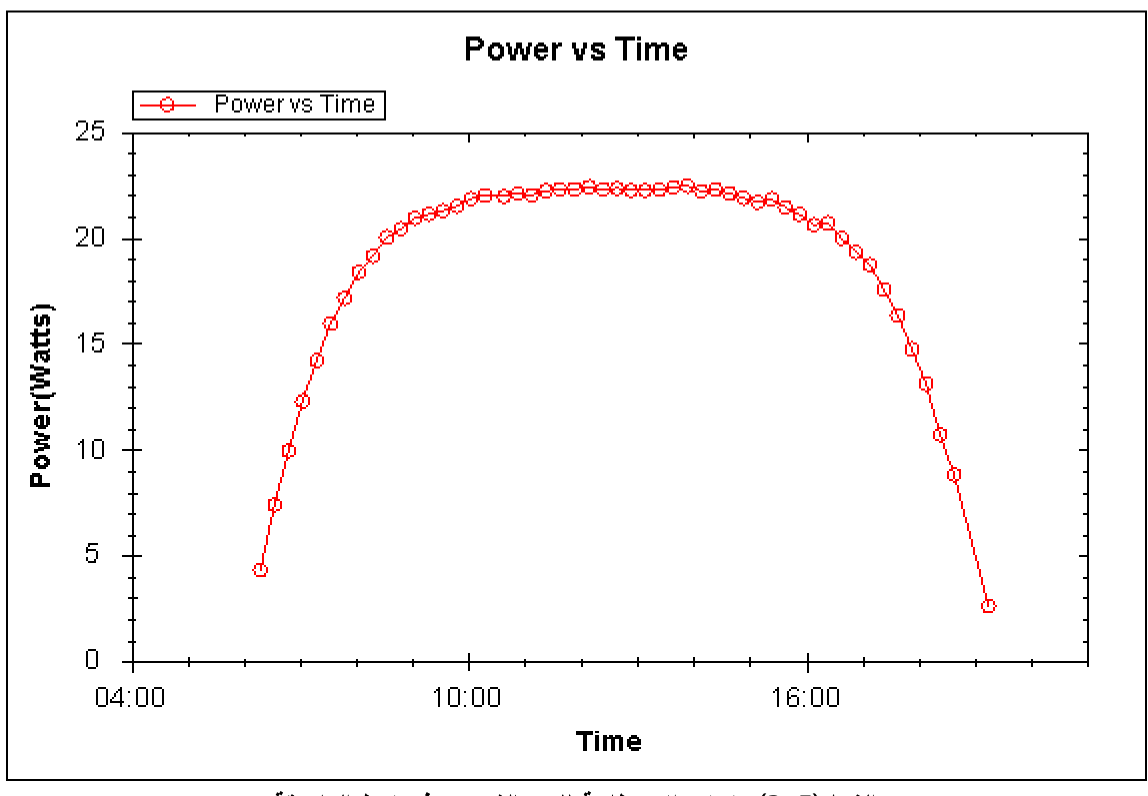
File Serial Port MMC Graphs About 51

Index	Date	Time	Voc	Temp	Isc	Light
1	07/30	06:17	22.95	25.6	0.19	1.16
2	07/30	06:32	23.09	29.0	0.32	2.00
3	07/30	06:47	23.29	29.5	0.43	2.47
4	07/30	07:02	23.36	31.8	0.53	3.13
5	07/30	07:17	23.34	33.9	0.61	3.80
6	07/30	07:32	23.29	36.1	0.68	4.28
7	07/30	07:47	23.32	35.3	0.74	4.56
8	07/30	08:02	23.17	38.0	0.79	4.75
9	07/30	08:17	23.09	38.3	0.83	4.83
10	07/30	08:32	23.09	39.5	0.87	4.86
11	07/30	08:47	23.07	40.5	0.88	4.86
12	07/30	09:02	23.04	40.0	0.91	4.88
13	07/30	09:17	22.95	42.1	0.92	4.88
14	07/30	09:32	22.85	43.9	0.93	4.88
15	07/30	09:47	22.70	45.0	0.94	4.86
16	07/30	10:02	22.73	42.5	0.96	4.88
17	07/30	10:17	22.78	43.5	0.97	4.79
18	07/30	10:37	22.70	44.0	0.96	4.25
19	07/30	10:52	22.80	42.1	0.97	4.46
20	07/30	11:07	22.75	43.2	0.97	4.45
21	07/30	11:22	22.75	41.2	0.98	4.48
22	07/30	11:37	22.56	47.5	0.98	4.44
23	07/30	11:52	22.66	42.7	0.98	4.41
24	07/30	12:07	22.70	42.4	0.99	4.44
25	07/30	12:22	22.65	45.0	0.98	4.40
26	07/30	12:37	22.63	42.3	0.98	4.43
27	07/30	12:52	22.70	42.7	0.98	4.40
28	07/30	13:07	22.56	43.9	0.98	4.48
29	07/30	13:22	22.75	39.5	0.98	4.55
30	07/30	13:37	22.46	44.3	0.99	4.66
31	07/30	13:52	22.58	40.3	0.99	4.69
32	07/30	14:07	22.63	41.0	0.98	4.59
33	07/30	14:22	22.68	41.0	0.98	4.87
34	07/30	14:37	22.68	40.4	0.97	4.91
35	07/30	14:52	22.71	39.0	0.96	4.87
36	07/30	15:07	22.73	40.4	0.95	4.87
37	07/30	15:22	22.82	38.9	0.96	4.85
38	07/30	15:37	22.82	38.1	0.94	4.89
39	07/30	15:52	22.75	39.8	0.92	4.84
40	07/30	16:07	22.85	39.1	0.90	4.88
41	07/30	16:22	22.92	37.5	0.90	4.92
42	07/30	16:37	22.90	37.5	0.87	4.91
43	07/30	16:52	22.92	38.0	0.84	4.86
44	07/30	17:07	23.08	36.2	0.81	4.56
45	07/30	17:22	22.95	36.7	0.76	4.07
46	07/30	17:37	22.95	37.0	0.71	3.54
47	07/30	17:52	23.02	34.8	0.64	2.85
48	07/30	18:07	23.00	34.0	0.57	2.23
49	07/30	18:22	22.92	32.8	0.47	1.71
50	07/30	18:37	22.83	32.1	0.40	1.39
51	07/30	19:14	21.65	29.3	0.12	0.56

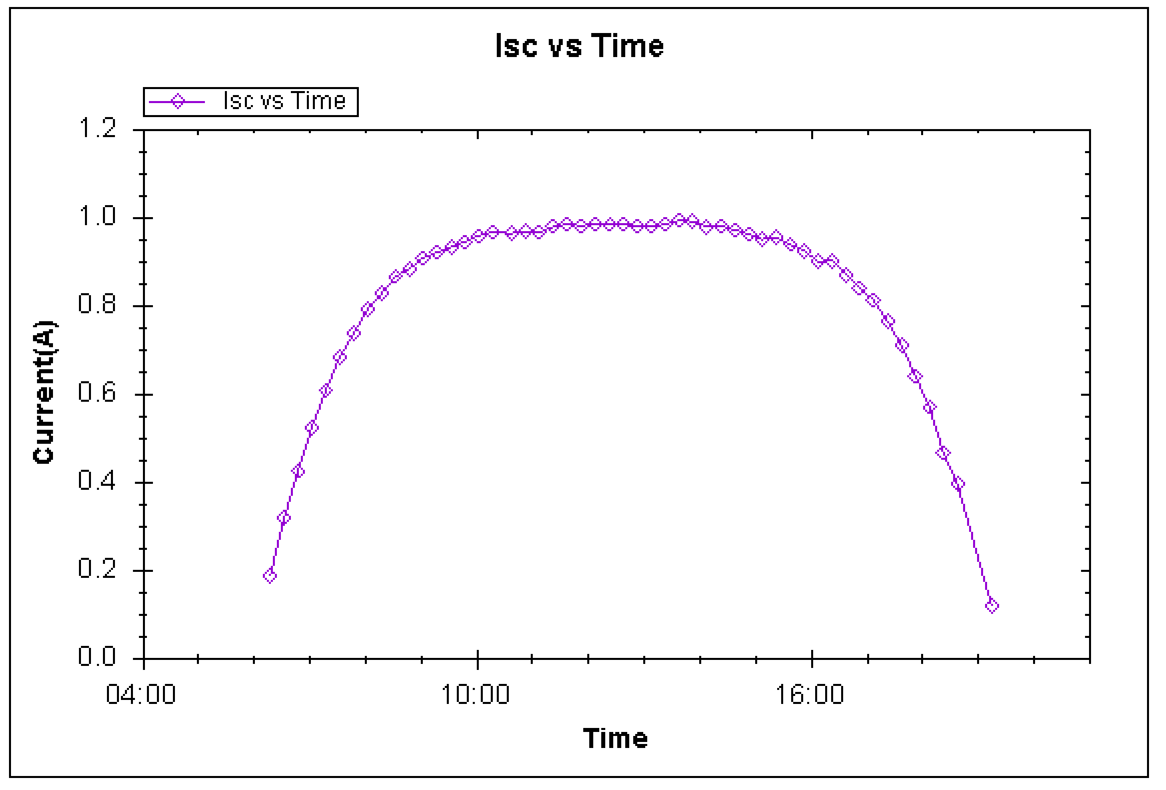
Serial Port Open : 19200 MMC Response 0

الجدول(5-4) معطيات المنظومة في نمط الملاحقة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

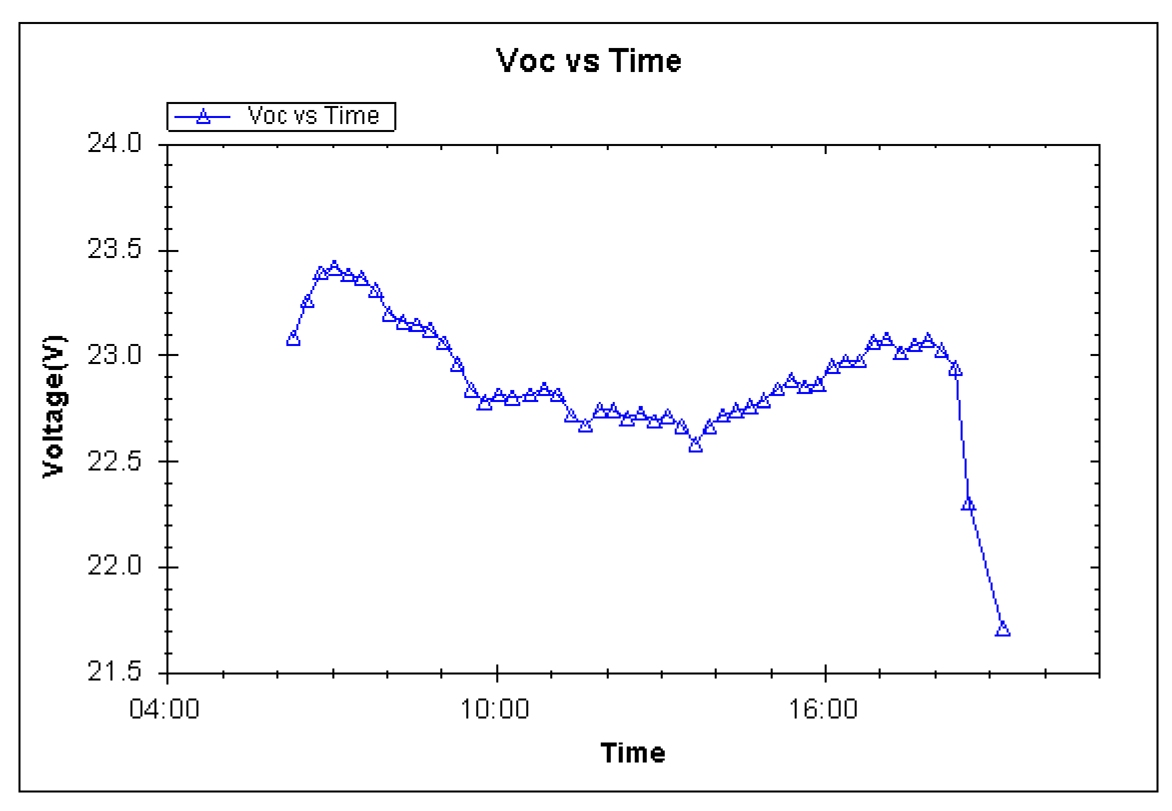


الشكل(5-2) منحني الاستطاعة للوح الشمسي في نمط الملاحقة

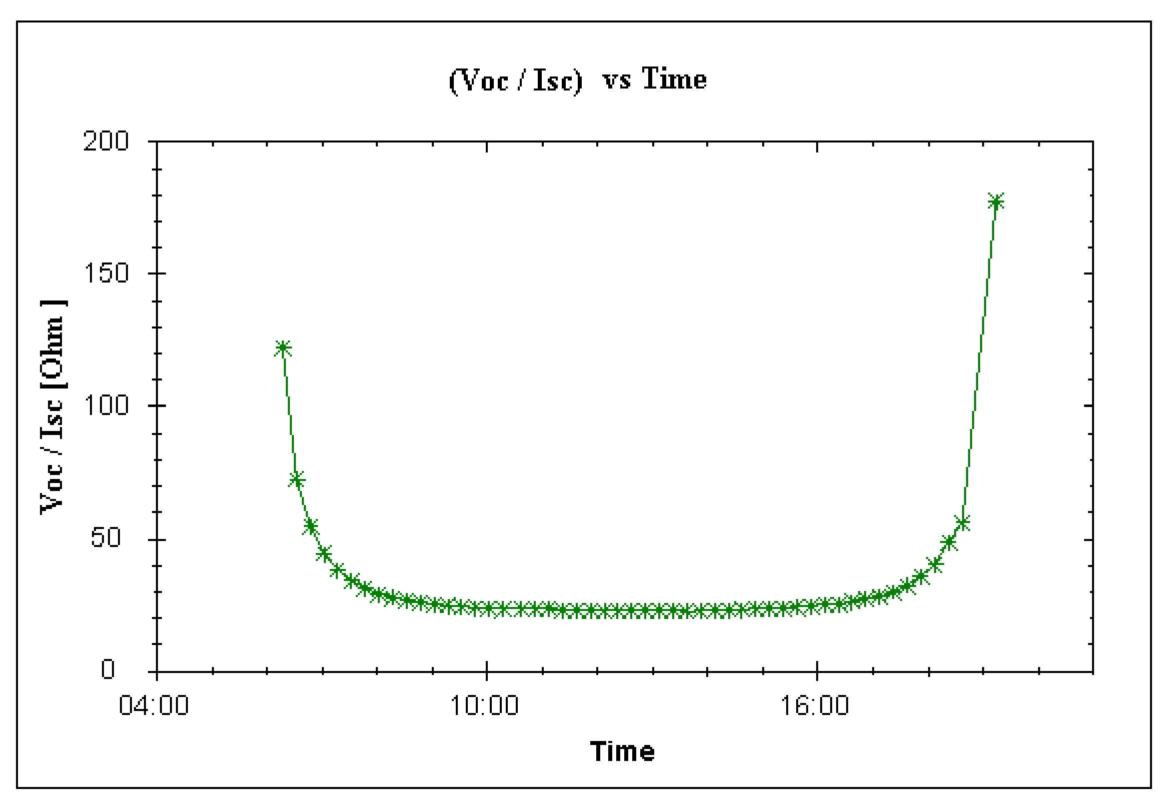


الشكل(5-3) منحني تيار الدارة القصيرة للوح الشمسي في نمط الملاحقة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



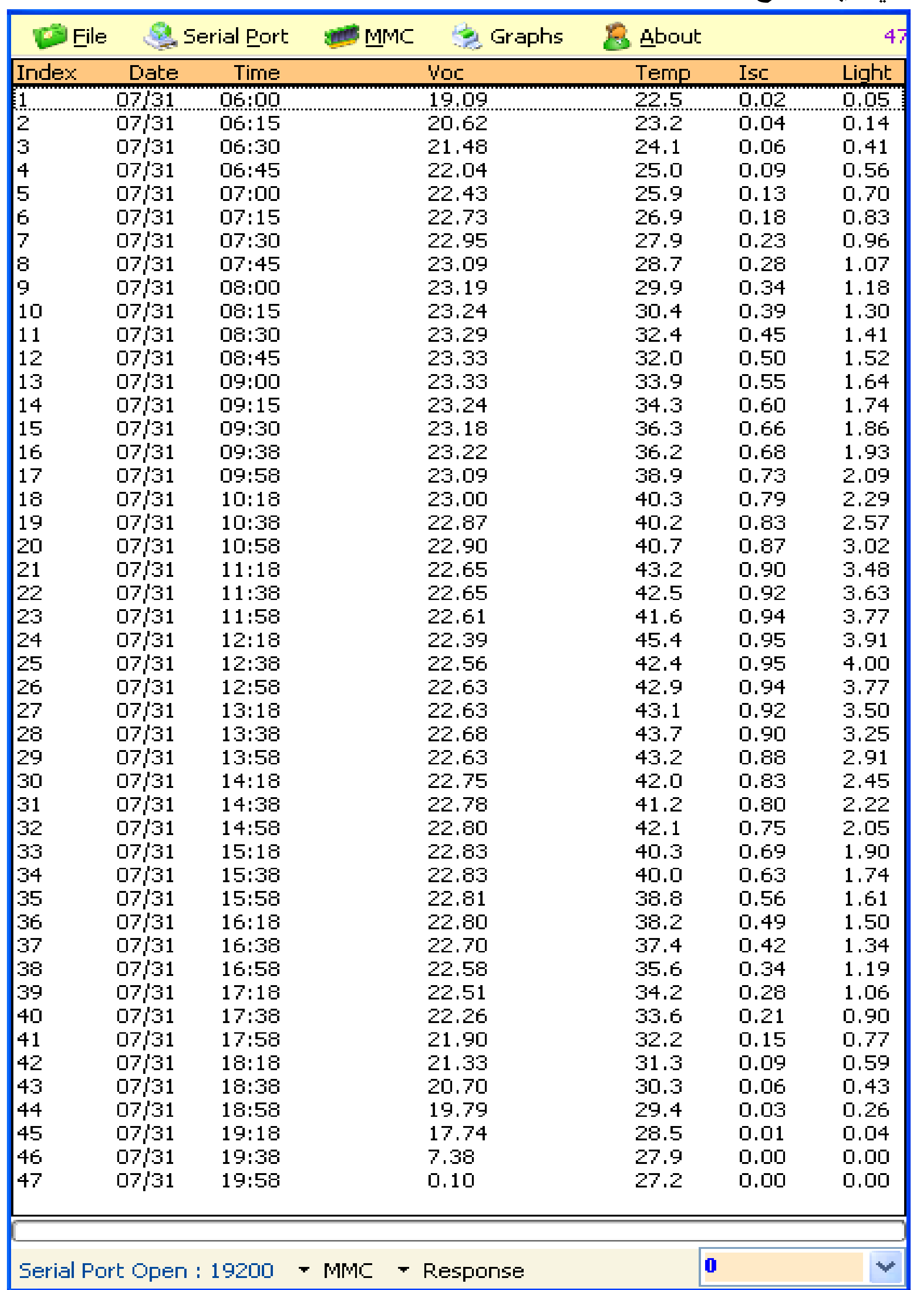
الشكل(5-4) منحني جهد الدارة المفتوحة للوح الشمسي في نمط الملاحقة



الشكل(5-5) منحني تغيرات النسبة (V_{oc} / I_{sc}) للوح الشمسي في نمط الملاحقة

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

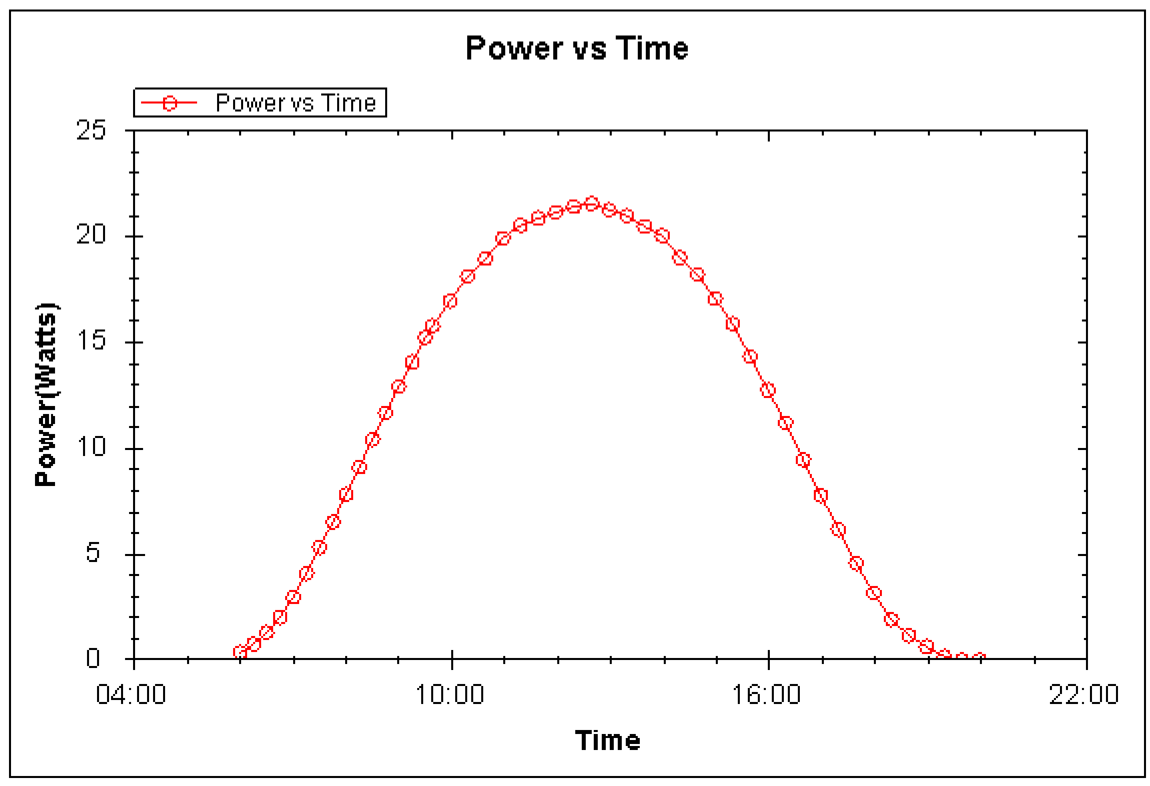
يبيِّن الجدول (5-5) والأشكال (5-6، 5-7، 5-8، 5-9) النتائج التي حصلنا عليها في حالة عمل المنظومة في النمط الثابت وبنفس زاوية الميل السابقة وزاوية سمت مقابلة لنقطة المنتصف في منحني الأستطاعة بنمط الملاحقة (أي باتجاه الجنوب)، تم أخذ هذه المعطيات في اليوم التالي أي بتاريخ (2009/7/31).



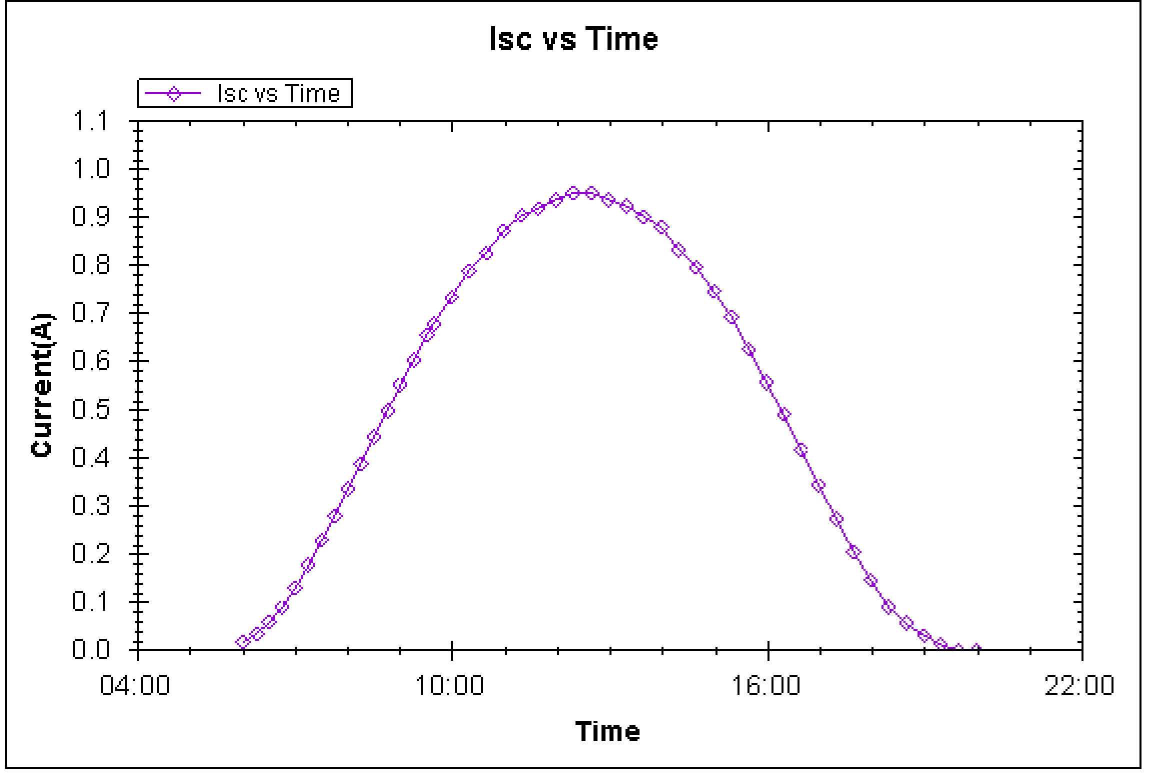
Index	Date	Time	Voc	Temp	Isc	Light
1	07/31	06:00	19.09	22.5	0.02	0.05
2	07/31	06:15	20.62	23.2	0.04	0.14
3	07/31	06:30	21.48	24.1	0.06	0.41
4	07/31	06:45	22.04	25.0	0.09	0.56
5	07/31	07:00	22.43	25.9	0.13	0.70
6	07/31	07:15	22.73	26.9	0.18	0.83
7	07/31	07:30	22.95	27.9	0.23	0.96
8	07/31	07:45	23.09	28.7	0.28	1.07
9	07/31	08:00	23.19	29.9	0.34	1.18
10	07/31	08:15	23.24	30.4	0.39	1.30
11	07/31	08:30	23.29	32.4	0.45	1.41
12	07/31	08:45	23.33	32.0	0.50	1.52
13	07/31	09:00	23.33	33.9	0.55	1.64
14	07/31	09:15	23.24	34.3	0.60	1.74
15	07/31	09:30	23.18	36.3	0.66	1.86
16	07/31	09:38	23.22	36.2	0.68	1.93
17	07/31	09:58	23.09	38.9	0.73	2.09
18	07/31	10:18	23.00	40.3	0.79	2.29
19	07/31	10:38	22.87	40.2	0.83	2.57
20	07/31	10:58	22.90	40.7	0.87	3.02
21	07/31	11:18	22.65	43.2	0.90	3.48
22	07/31	11:38	22.65	42.5	0.92	3.63
23	07/31	11:58	22.61	41.6	0.94	3.77
24	07/31	12:18	22.39	45.4	0.95	3.91
25	07/31	12:38	22.56	42.4	0.95	4.00
26	07/31	12:58	22.63	42.9	0.94	3.77
27	07/31	13:18	22.63	43.1	0.92	3.50
28	07/31	13:38	22.68	43.7	0.90	3.25
29	07/31	13:58	22.63	43.2	0.88	2.91
30	07/31	14:18	22.75	42.0	0.83	2.45
31	07/31	14:38	22.78	41.2	0.80	2.22
32	07/31	14:58	22.80	42.1	0.75	2.05
33	07/31	15:18	22.83	40.3	0.69	1.90
34	07/31	15:38	22.83	40.0	0.63	1.74
35	07/31	15:58	22.81	38.8	0.56	1.61
36	07/31	16:18	22.80	38.2	0.49	1.50
37	07/31	16:38	22.70	37.4	0.42	1.34
38	07/31	16:58	22.58	35.6	0.34	1.19
39	07/31	17:18	22.51	34.2	0.28	1.06
40	07/31	17:38	22.26	33.6	0.21	0.90
41	07/31	17:58	21.90	32.2	0.15	0.77
42	07/31	18:18	21.33	31.3	0.09	0.59
43	07/31	18:38	20.70	30.3	0.06	0.43
44	07/31	18:58	19.79	29.4	0.03	0.26
45	07/31	19:18	17.74	28.5	0.01	0.04
46	07/31	19:38	7.38	27.9	0.00	0.00
47	07/31	19:58	0.10	27.2	0.00	0.00

الجدول (5-5) معطيات المنظومة في النمط الثابت

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

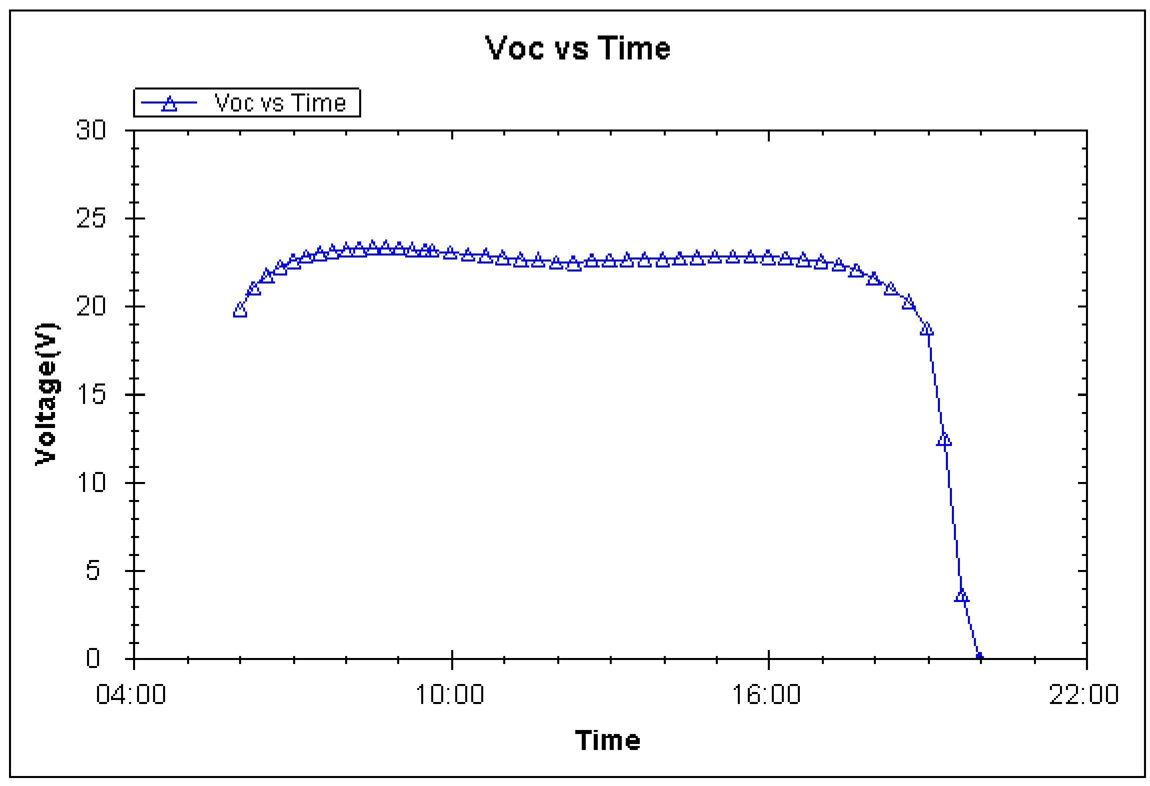


الشكل(5-6) منحني الاستطاعة للوح الشمسي في النمط الثابت

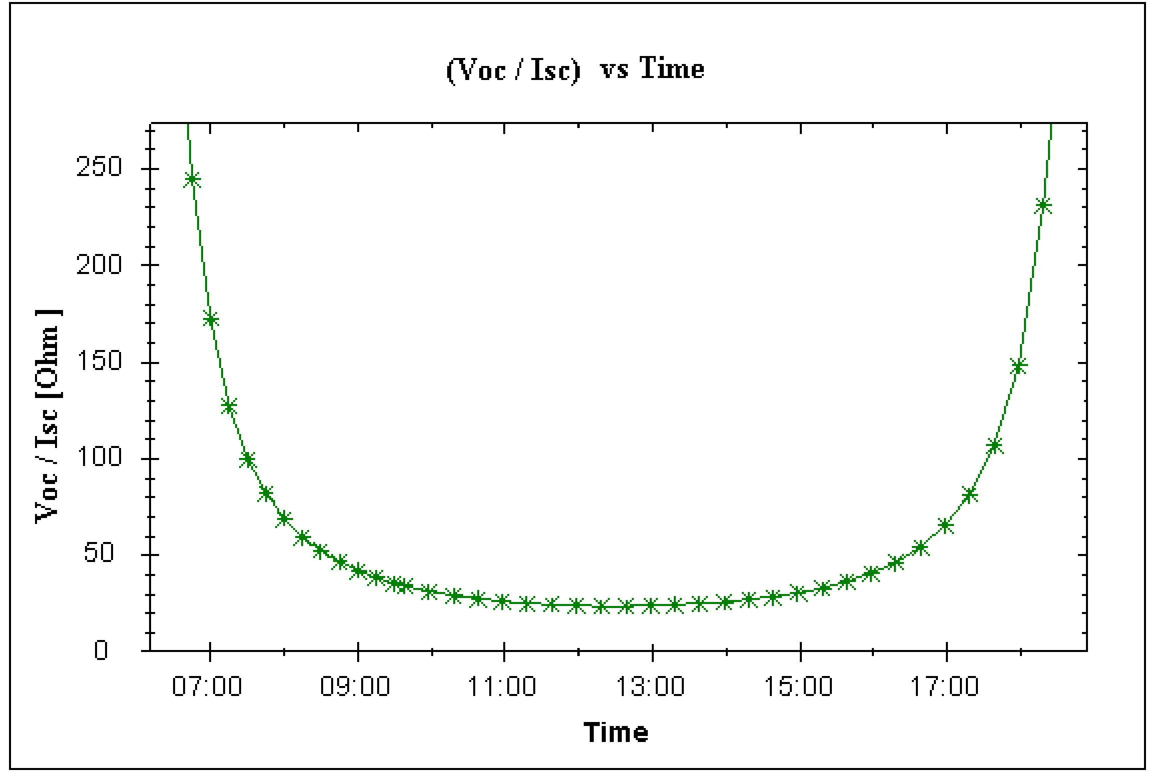


الشكل(5-7) منحني تيار الدارة القصيرة للوح الشمسي في النمط الثابت

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



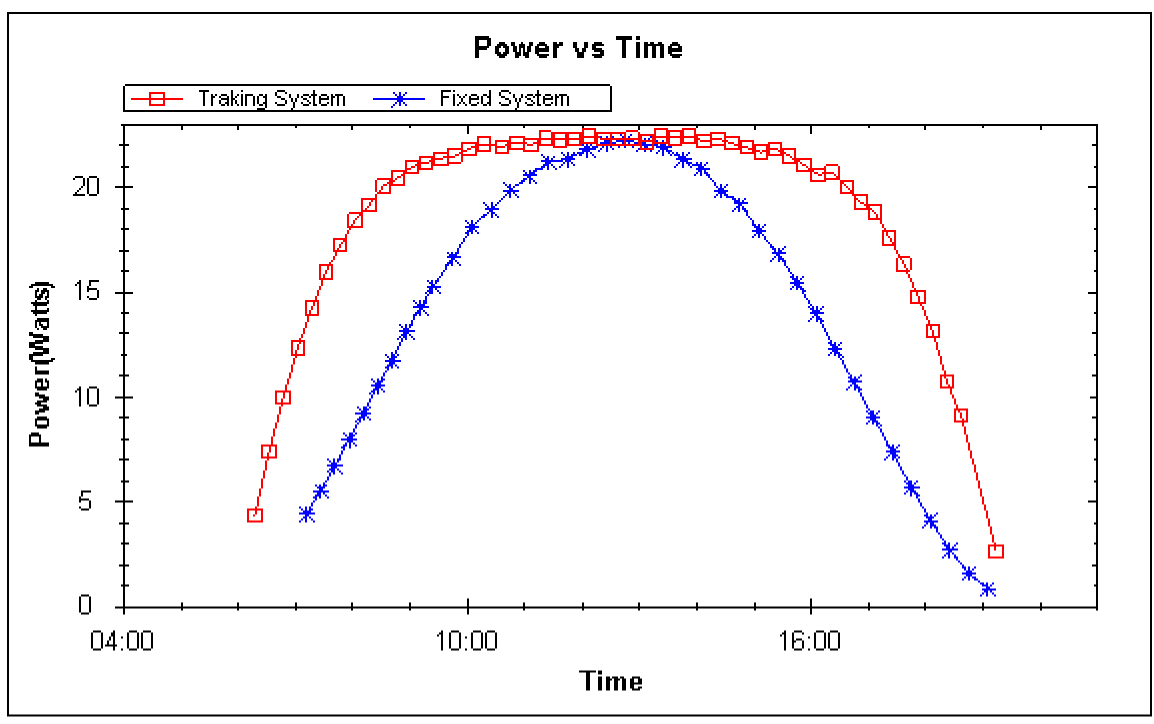
الشكل(5-8) منحني جهد الدارة المفتوحة للوح الشمسي في النمط الثابت



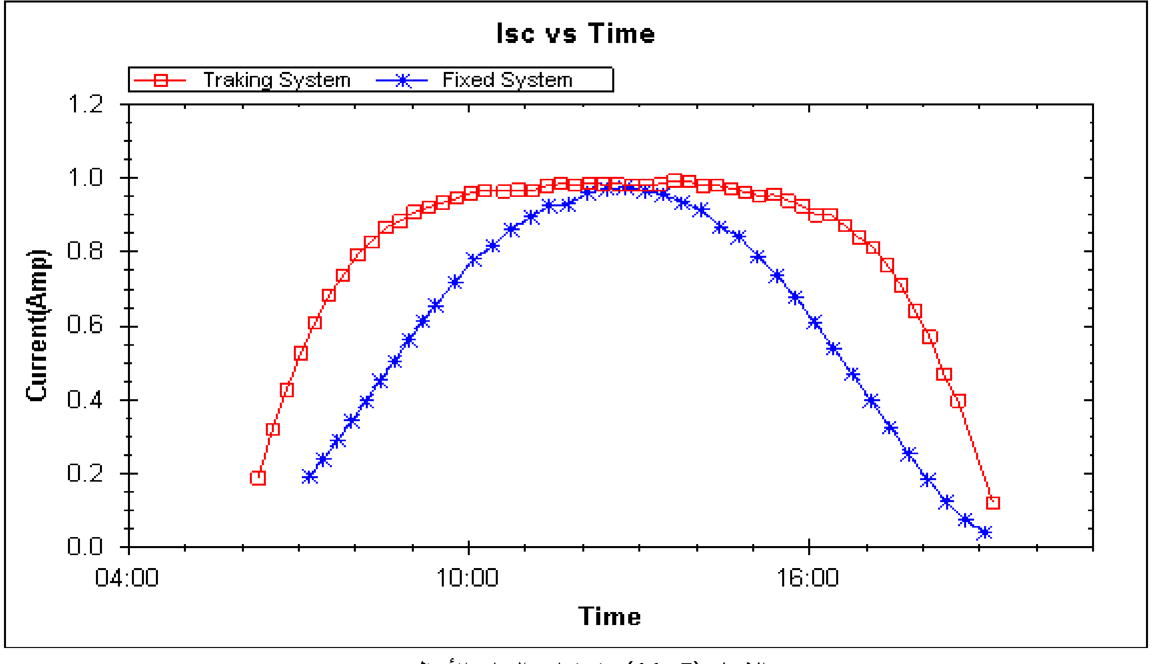
الشكل(5-9) منحني تغيرات النسبة (V_{oc} / I_{sc}) للوح الشمسي في النمط الثابت

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

تبين الأشكال(5-9، 5-10، 5-11، 5-12، 5-13) التالية منحنيات المقارنة بين النظام المتحرك(المنحنيات باللون الأحمر) والنظام الثابت (المنحنيات باللون الأزرق) وذلــك لكــلٍ مــن منحني الاستطاعة وجهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة ومقاومة الــدخل للــوح الشمســي بالنسبة للزمن.

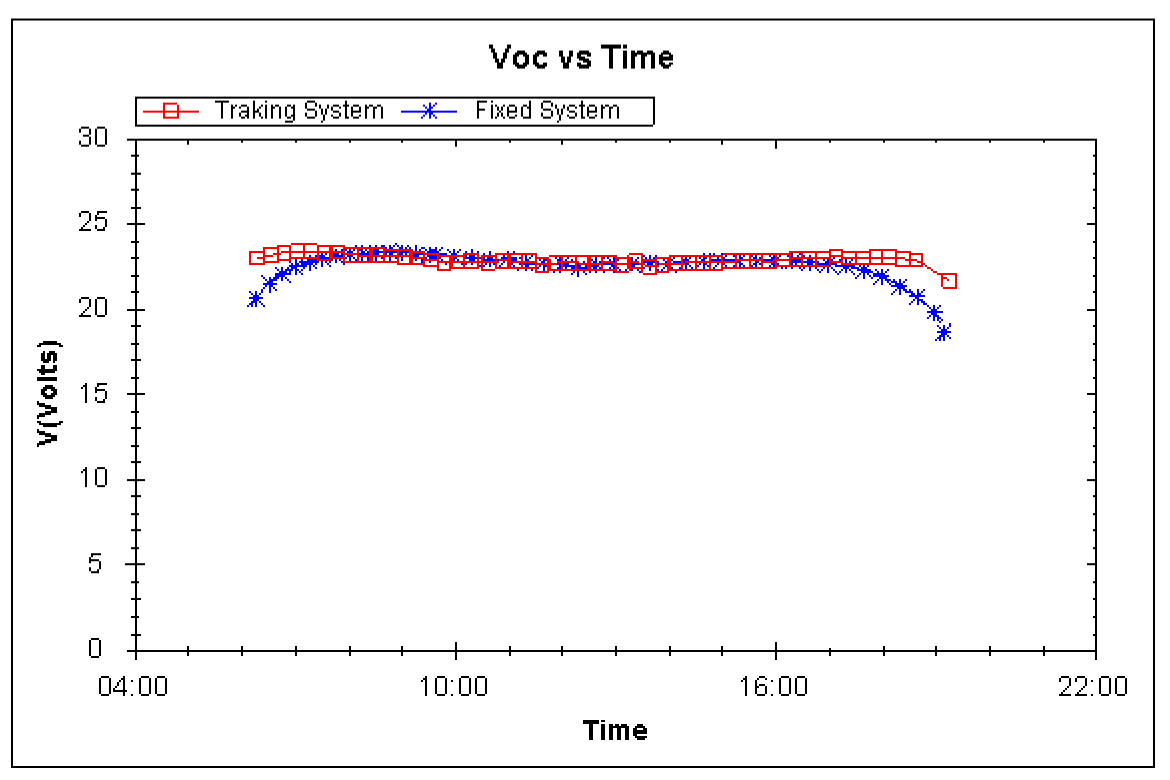


الشكل(5-10) منحنيات الاستطاعة الأعظمية

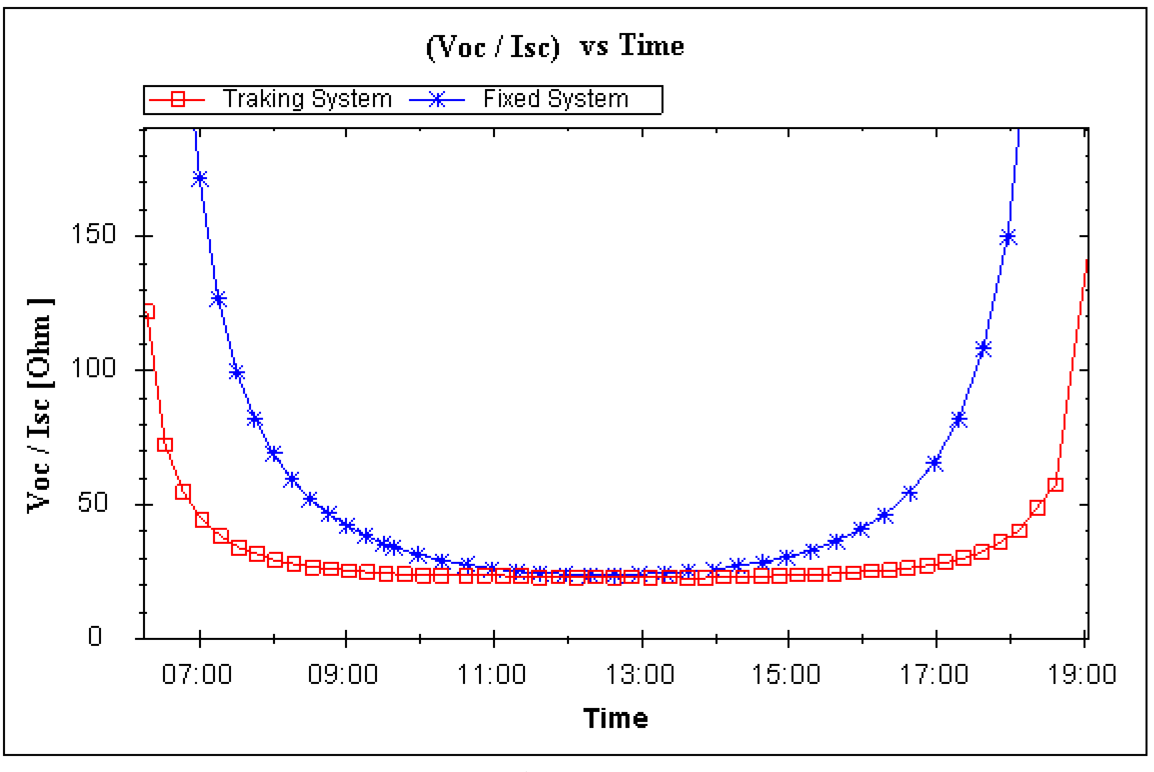


الشكل (5-11) منحنيات التيار الأعظمي

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

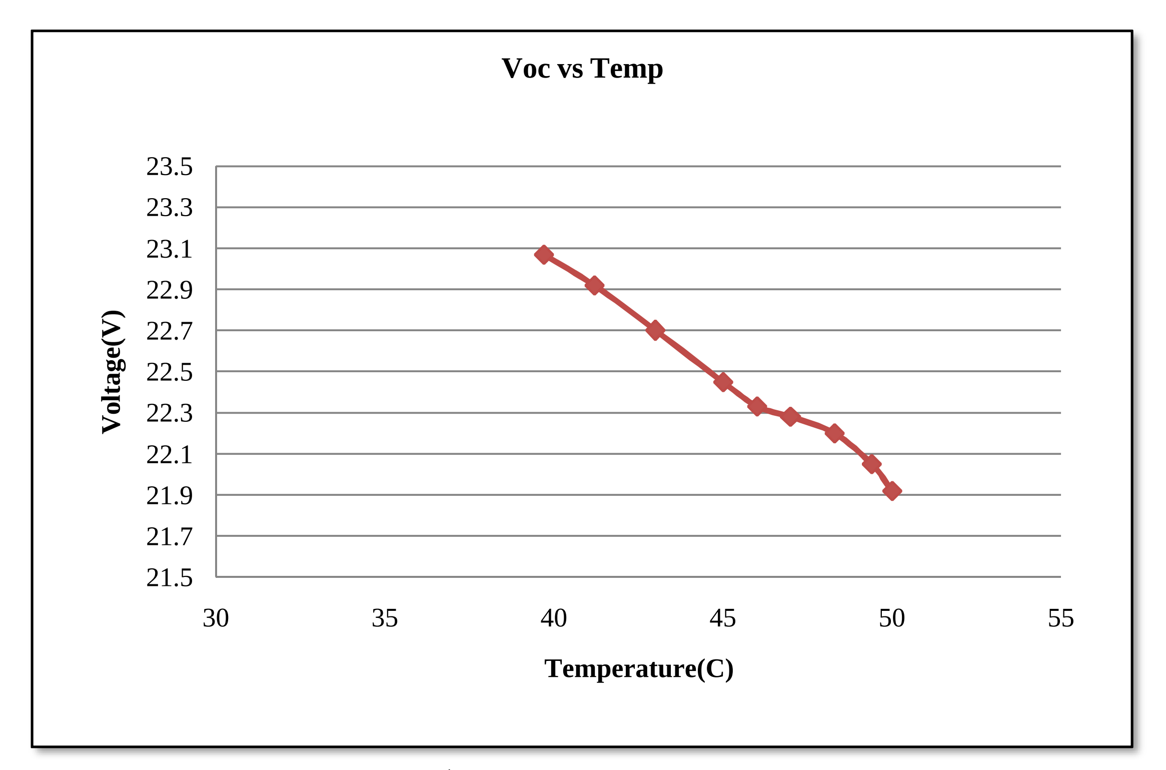


الشكل (5-12) منحنيات الجهد الأعظمي

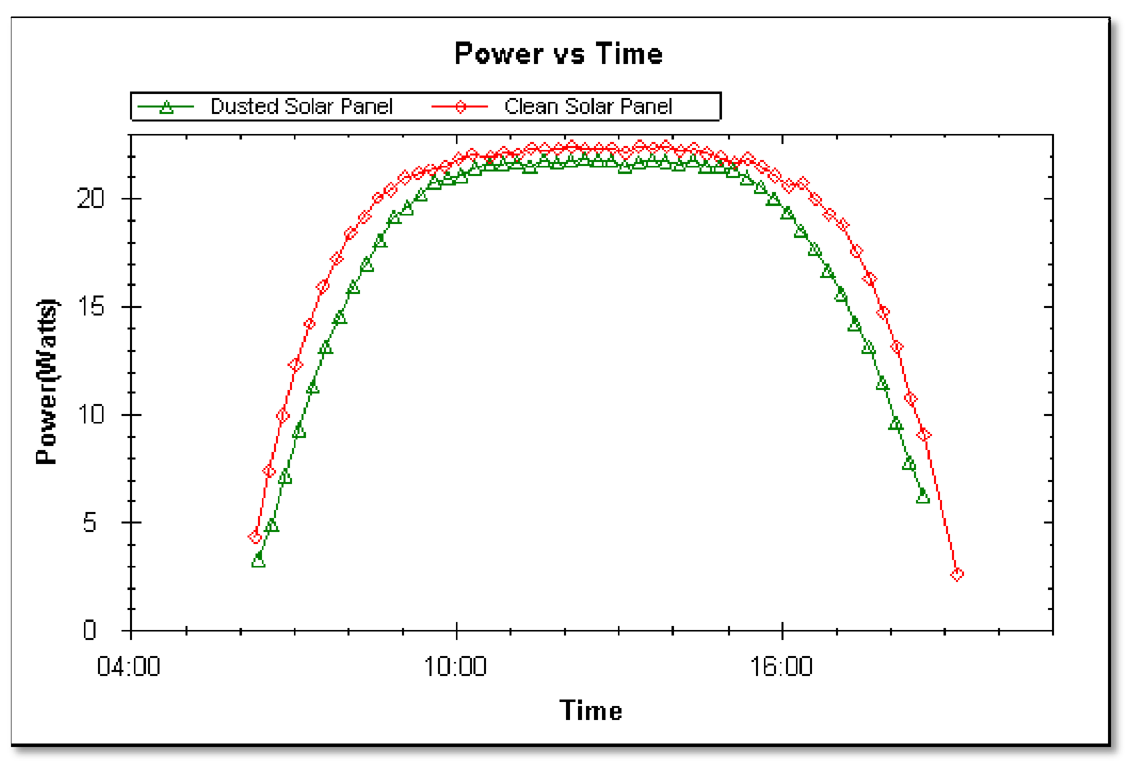


الشكل (5-13) منحنيات تغيرات النسبة (V_{oc} / I_{sc}) للوح الشمسي

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit



الشكل(5-14) تغيرات جهد اللوح الشمسي كتابع لدرجة الحرارة (2009/7/30)



الشكل(5-15) منحني استطاعة اللوح الشمسي (2009/7/30)

(◊) بدون غبار (▲) بوجود غبار (نحاته خفيفة)

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

5.5. النتائج والمناقشة:

في هذا البحث قمت وبشكل عملي بإعداد الدراسة والتنفيذ العملي لمنظومة ملاحقة الإشعاع الشمسي الأعظمي وفق الخطوات التالية:

1- تصميم وتنفيذ القسم الميكانيكي والإلكتروني لنظام الملاحقة واختيار الملاحق الشمسي والمحرك المناسبين كما تم تصميم وتنفيذ القسم الإلكتروني (دارة التحكم والقيادة لمحرك التوجيه وخوارزمية الملاحقة) باستخدام المتحكم المصغر (MEGA16).
2- تصميم وتنفيذ نظام تحصيل المعطيات (DAQ) وفق معايير علمية مناسبة.
3- تصميم وتنفيذ دارة قارئة للبطاقة الذاكرية تتخاطب مع الحاسب وفق بروتوكول تخاطب محدد تم تصميمه وتنفيذه عملياً باستخدام المتحكم المصغر (MEGA8) وكتابة البرنامج الخاص به بواسطة لغتي البرمجة (C, C#).
4- تصميم وكتابة برنامج التحليل والمحاكاة اللازم لرسم الخطوط البيانية المعبرة عن النتائج المجدولة والمأخوذة من الذاكرة (MMC) لنظام تحصيل المعطيات (DAQ).
5- تصميم وكتابة برنامج حساب المردود عن طريق التحليل اللوني لمنحنيات استطاعة الخرج في حالة النظام الثابت والمتحرك.

من خلال الأشكال (المنحنيات) السابقة نستنتج ما يلي:

1- يحقق النظام المتحرك زيادة في المردود بحدود (28.3%) مقارنةً مع النظام الثابت حسب الشكل (5 – 10).
2- إن تغيرات جهد الدارة المفتوحة للوح الشمسي خلال ساعات النهار طفيفة وتتناسب عكساً مع درجة الحرارة وطرداً مع شدة الإشعاع أي: $V_{oc}\ \alpha\ T^{-1}, V_{oc}\ \alpha\ \Phi$ حسب المنحني المبين بالشكل(5 – 14) وهذه النتيجة موافقة للعلاقة النظرية(5 – 7) التالية:

$$V_{OC} = V_o \cdot (1 + b \cdot \Delta T) \qquad (7-5)$$

حيث β: معامل درجة الحرارة السالب وقيمته (0.0041- =) بالنسبة (C-Si).

3- يتعلق تيار وبالتالي استطاعة اللوح الشمسي بشكل أساسي بشدة الإشعاع الشمسي Φ، فهو المحدد الأساسي لمردود التحويل، حيث يبلغ مردود التحويل ذروته في وقت الظهيرة حيث يكون الإشعاع الشمسي أعظمي حسب الأشكال (2 ، 3 ، 6 ، 7 ، 10 ، 11).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

4- إن منحنيات الاستطاعة تماثل شكلاً منحنيات التيار، مما يدل علـى أن التيـار هـو المحـدد الأساسي للاستطاعة الأعظمية للوح الشمسي في حين أن تأثير الجهد طفيف حسب النتيجة(2) والأشكال(2 ، 3 ، 6 ، 7 ، 10 ، 11).

5- تكون استطاعة اللوح الشمسي في النظام المتحرك أعظمية من الساعة التاسعة صباحاً تقريبـاً حتى الساعة الخامسة مساءً، أي فترة دوام الاستطاعة الأعظمية حوالي ثمانية سـاعات، فـي حين تكون استطاعة اللوح الشمسي في النظام الثابت أعظمية من السـاعة الحاديـة عشـرة صباحاً حتى الساعة الثانية بعد الظهر تقريباً، أي فتـرة دوام الاسـتطاعة الأعظميـة ثـلاث ساعات فقط.

6- من خلال التجارب العمليّة تَبيَّن بأن اللوح الشمسي يتأثر بالغبار بشكل متناسـب عكسـاً مـع كثافتها حسب الشكل(5 - 15).

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

التوصيات والتطويرات المستقبلية:

1- يمكن تطوير هذه المنظومة بإضافة محرك توجيه آخر وفق زاوية الميل ودراسة مقدار الربح والضياعات الناتجة عن إضافة هذا المحرك.

2- يمكن الاستغناء عن البارامترين (T_{Start}, T_{End}) في خوارزمية الملاحقة بأخذ إشارة البدء والانتهاء من عمليات الملاحقة من الحساس الضوئي المستخدم في التوجيه وذلك للتخلص من مشكلة الضبط اليدوي لهذين البارامترين كل فترة وأخرى.

3- وجدنا من خلال المنحنيات بأن تأثير درجة الحرارة على المردود سلبي ويمكن التقليل هذا الأثر بتبريد اللوح الشمسي عن طريق وضع دارة تبريد خلفه (حسب مبدأ المبادل الحراري) وبذلك نكون قد زدنا مردوده واستفدنا من حرارة اللوح في تسخين الماء ضمن أنابيب التبريد.

4- يمكن تطوير هذا النظام بالجمع بين تقنيات الملاحقة أي الملاحقة الميكانيكية وملاحقة نقطة الاستطاعة الأعظمية MPPT وبذلك نحصل على نظام متكامل يمكن أن يحقق أعلى مردود تحويل بواسطة الملاحقة الميكانيكية وينقل كامل استطاعة اللوح الشمسي إلى الحمل بواسطة الملاحقة MPPT.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

References

1- SCOTT J. HAMILTON, “Sun Tracking Solar Cell Array System”, University of Queensland Undergraduate (Pass) Thesis, 1999.
2- “How Solar Cells work” © University of Southampton, 1997
3- www.agilent.com, “IV and CV Characterizations of Solar/Photovoltaic Cells”. ©Agilent Technologies, Inc. USA, 2009.
4- The Basic Physics and Design of III-V Multijunction Solar Cells
5- http://www.w3c.org, Solar tracker Types- Wikipedia, the free encyclopedia.
6- J. Rizk, and Y. Chaiko, “Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panel” PWASET VOLUME 31 JULY 2008.
7- KING D.L.; BOYSON W.E.; KRATOCHVIL J.A., 2002- Analysis of factors influencing the annual energy production of photovoltaic systems. Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, 1356-1361.
8- CHUNG H.S.H.; HO M.T.; HUI S.Y.R.; TSE K.K., 2006- A Novel Maximum Power Point Tracking Technique for PV Panels. florida state university press, 2^{nd} Ed, USA, 240.
9- SHRAIF M.F., 2002- Optimisation et measure de chaine de conversion D'Energie Photovoltaique en Energie Electrique, Doctorat de l'Universite Paul Sabatier de Toulouse, 1(1),1-128.
10- GIBBS W.W., 2006 - Plan B for Energy. Scientific American, 102-114.
11- HUYNH P., CHO B.H., 1996- Design and Analysis of a Microprocessor Controlled Peak-Power Tracking System. IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, 32(1), 182-190.
12- TING LIN K., TSUNG Y., HUNG J.,2009 – Communication Protocol Methods, Patent Application Publication, Vol. 12, NO. 446, pp: 8.
13- CLAUS M.,NGUYEN H., 2008 –Serial Communication Protocol, Patent Application Publication, Vol. 11, NO. 427, pp: 12.
14- GROSS R.,HAMPTON N., 2008 – Communication Protocol System and Methods, United State Patent, Vol. 10, NO. 192, pp: 10.
15- SMITH R.,GARY E., 2005 – Three Wire Communication Protocol, United State Patent, Vol. 10, NO. 679, pp: 10.
16- TADAUKI T.,KAWASAKI E., 1995 –Communication Protocol System, United State Patent, Vol. 10, NO. 785065, pp: 21.
17- KEY P.,GANESH A.,LAKSHMIKANTHA A., 2008 –Multi-Channel Communications Protocol, Patent Application Publication, Vol. 11, NO. 861, pp: 15.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

18- LIN J.C., PAUL S., 1996 - RMTP: A Reliable Multicast Transport Protocol, Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 10.
19- www.atmel.com/literature, "ATMEGA16 data sheet".
20- www.maxim-ic.com, "DS1307 data sheet".

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

```
#include <mega16.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#include <lcd1.h>
// I2C Bus functions
#asm
.equ __i2c_port=0x15 ;PORTC
.equ __scl_bit=0
.equ __sda_bit=1
#endasm
#include <i2c.h>
// DS1307 Real Time Clock functions
#include <ds1307.h>
// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
#include <variables.c>
#include <spi.h>
#include <mmcx.c>
#include <kpd2.h>
#include <motor_dc.c>
#include <fTime.c>
#include <chars.c>
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
// Read the 10-bit
// of the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input
// voltage
delay_us(50);
ADCSRA|=0x40; // Start the AD conversion
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
// Declare your global variables
//***********Functions Prototype*************
void adjusing_params();
void System_Run();
void init_time_date();
void view_time_date();
char mmc_rst();
char mmc_wr();
char mmc_rd();
void save_data();
```

```
//********* Starting Main Program ***********
while (1)
 {
  delay_ms(50);
//for show Time & Date each minute
  view_time_date();
  k=kpd2();
  if(k!=0x0F)
   {
    if(k==1) {adjusing_params(); lcd_putsf(scr1);}
    else if(k==2)
    {
      run_status();
      if(run==1)
      {
       IT=0;
       lcd_gotoxy(0,1);
       lcd_putsf("1.STOP  R,  ,  ");
       while (1)  //Running Loop
       {
        run_status();
        if(IT==Interval)
        {
         System_Run();
         IT=0;
         lcd_gotoxy(0,1);
         lcd_putsf("1.STOP  R,  ,  ");
         lcd_gotoxy(11,1);
         itoa(index_frame,str);
         lcd_puts(str);
        }
        delay_ms(50);
        //for show Time & Date each minute
        view_time_date();
        k=kpd2();
        if(run==0)
        {
          index_frame=0;
          j=mmc_wr();
          if(j!=0) {mmc_rst();mmc_wr();}
        };
        if(k==1 || run==0)
        {
          lcd_clear();
          lcd_putsf(scr1);
          init_time_date();
          break;
        } // Exit Condition
       }
      }
      else
```


All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

```
void track();
void go_intial_position();
void information();
void run_status();
void show_measured(unsigned char a);

void main(void)
{
// Declare your local variables here
// Configuration Ports
   DDRA=0x00;
   PORTA=0xE0;
   DDRB=0xBF;
   PORTB=0x50;
   DDRC=0x3F;
   PORTC=0xC0;
   DDRD=0xFF;
   PORTD=0x00;
    #asm("cli")
// SPI initialization
// SPI=Master,Clk_Rate=250KHz,CIK_Phase=Cycle_Half
// Polarity: High, Data Order: MSB First
   SPCR=0x5C;
   SPSR=0x00;
// I2C Bus initialization
   i2c_init();
// ADC initialization
//fadc= 62.500 kHz, Vref= AREF, Auto Trigger: None
   ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
   ADCSRA=0x86;
// LCD module initialization
   lcd_init(16);
   lcd_clear(); //very important
   lcd_putsf(" SOLAR TRACKING\n     SYSTEM");
   delay_ms(1000);
   lcd_clear();
   mmc_rst();
   create_chars();
   lcd_clear();
   init_time_date();
   lcd_clear();
   lcd_putsf(scr1);
   addr=ADDR;
   rtc_get_time(&hh,&mm,&ss);
    if(hh>STH && hh<ETH) run=1;
            {
              lcd_clear();
              lcd_putsf("Cann't Run\nOUT TIME TRACK");
              delay_ms(1000);
              lcd_clear();
              lcd_putsf(scr1);
              init_time_date();
            }
         }
      }
} // end while
}
//***********END MAIN Program**********
void track()  // Tracking Algorithm
{
 if(run==1 && END2!=0 && sys==0)
 {
   lcd_clear();
   lcd_putsf("TRACKING NOW...");
   k=DRT;
   j=resolution_conv;
   delay_ms(150);
   v1= read_adc(4);
   v1=v1>>j;
   motor_run_forward();
   delay_ms(50);  // delay for relay run
   i=0;
   while(1)
    {
     v0=v1;
     delay_ms(k);
// Isc Signal by [2.2 Ohm-Resistor]&Photo Diode Signal
     v1= read_adc(4);
     v1=v1>>j;
     if(v1<v0) i++;   // confirm variable
     else if(i==1) i=0;
     if(i>=2 || END2==0) break;
    }
   motor_stop();
   delay_ms(100);
  }
  else
  {
    if(run==0 && END1!=0)
    {
     go_intial_position();
    }
  }
}
```

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Source Code for Serial Communication Protocol using **CS** Language:

```
                    // included units
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.IO.Ports;
using System.Windows.Forms;

namespace MasterProg
{
   class SPCommands
   {
      /*** Global Variables Declaration Area ********/
      public SerialPort sp1 = new SerialPort("COM1",
19200, Parity.None, 8, StopBits.One);
      Timer timer1 = new Timer();
      byte[] CMD = new byte[530];
      enum def : byte
      {
         STX = 0xAA, EOT = 0xFF, RDY = 0x55, RST = 0x0A,
         ERROR = 0xEE,  RD1 = 0x1B, RD2 = 0x0B,
         WR1 = 0x0C, WR2 = 0x1C, SBD=0xE5,
      };
      public SPCommands() // Constructor class
      {
         timer1.Interval = 500;
         timer1.Enabled = false;
         sp1.ReceivedBytesThreshold = 12;
         this.timer1.Tick += new
System.EventHandler(this.timer1_Tick);
         this.sp1.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(this.sp1_DataReceived);
      }
      /********** MMC Function **********/
      public void SP_Ready_Test()
      {
         CMD[0] = (byte)def.STX;
         CMD[1] = (byte)def.STX;
         CMD[2] = 10;
         CMD[3] = 0;
         CMD[4] = (byte)def.RDY;
         CMD[5] = (byte)def.RDY;
         CMD[6] = 0;
         CMD[7] = (byte)def.EOT;
         CMD[8] = (byte)def.STX;
         CMD[9] = (byte)def.EOT;
         try {sp1.Write(CMD, 0, 10);}
         catch (Exception err) {
MessageBox.Show(err.ToString(), "Error"); }
      }
      public void MMC_Reset()
```

```
    public void Write_PC_MC()
      {
         CMD[0] = (byte)def.STX;
         CMD[1] = (byte)def.STX;
         CMD[2] = 0x0D;
         CMD[3] = 0x02;
         CMD[4] = (byte)def.WR1;
         CMD[5] = 0;  //addr4 [MSB]
         CMD[6] = 0;
         CMD[7] = 0;
         CMD[8] = 0;  //addr1 [LSB]
         CMD[9] = (byte)def.SBD;
         for (int i = 0; i < 512; i++) CMD[i + 10]
= 0; //Data to be sended
         CMD[522] = (byte)def.EOT;
         CMD[523] = (byte)def.STX;
         CMD[524] = (byte)def.EOT;
         sp1.Write(CMD, 0, 525);
      }
      public void Write_PC_MMC(UInt32
mmc_addr)
      {
         CMD[0] = (byte)def.STX;
         CMD[1] = (byte)def.STX;
         CMD[2] = 0x0D;
         CMD[3] = 0x02;
         CMD[4] = (byte)def.WR2;
         CMD[5] = (byte)(mmc_addr >> 24);
//addr4 [MSB]
         CMD[6] = (byte)(mmc_addr >> 16);
         CMD[7] = (byte)(mmc_addr >> 8);
         CMD[8] = (byte)mmc_addr;
//addr1 [LSB]
         CMD[9] = (byte)def.SBD;
         for (int i = 0; i < 512; i++) CMD[i + 10]
= 0x00;//Data to be sended
         CMD[522] = (byte)def.EOT;
         CMD[523] = (byte)def.STX;
         CMD[524] = (byte)def.EOT;
         sp1.Write(CMD, 0, 525);
      }
      public void MMC_SetSizeSector(int
SectorSize)
      {
      }
      /*** Serial Port Functions ***/
      public void SP_Open()
      {
         try { sp1.Open(); }
         catch (Exception er)
```

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

```
{
   CMD[0] = (byte)def.STX;
   CMD[1] = (byte)def.STX;
   CMD[2] = 10;
   CMD[3] = 0;
   CMD[4] = (byte)def.RST;
   CMD[5] = (byte)def.RST;
   CMD[6] = 0;
   CMD[7] = (byte)def.EOT;
   CMD[8] = (byte)def.STX;
   CMD[9] = (byte)def.EOT;
   sp1.Write(CMD, 0, 10);
}
//Read MMC and Store Data in SRAM's MC
public void Read_MMC_PC(UInt32 mmc_addr)
{
   CMD[0] = (byte)def.STX;
   CMD[1] = (byte)def.STX;
   CMD[2] = 12;
   CMD[3] = 0;
   CMD[4] = (byte)def.RD2;
   CMD[5] = (byte)(mmc_addr >> 24);   //addr4 [MSB]
   CMD[6] = (byte)(mmc_addr >> 16);
   CMD[7] = (byte)(mmc_addr >> 8);
   CMD[8] = (byte)mmc_addr;   //addr1 [LSB]
   CMD[9] = (byte)def.EOT;
   CMD[10] = (byte)def.STX;
   CMD[11] = (byte)def.EOT;
   sp1.Write(CMD, 0, 12);
}
public void Read_MC_PC()
{
   CMD[0] = (byte)def.STX;
   CMD[1] = (byte)def.STX;
   CMD[2] = 12;
   CMD[3] = 0;
   CMD[4] = (byte)def.RD1;
   CMD[5] = 0;   //addr4 [MSB]
   CMD[6] = 0;
   CMD[7] = 0;
   CMD[8] = 0;   //addr1 [LSB]
   CMD[9] = (byte)def.EOT;
   CMD[10] = (byte)def.STX;
   CMD[11] = (byte)def.EOT;
   sp1.Write(CMD, 0, 12);
}
```

```
            { MessageBox.Show(er.ToString()); }
        }
        public void SP_Close()
        {
            sp1.Close();
        }
        /** Properties Declarations ***/
        public int Baud_Rate
        {
            set { sp1.BaudRate = value; }
            get { return sp1.BaudRate; }
        }
        public bool SP_is_Open
        {
            get { return sp1.IsOpen; }
        }
        public int SP_RBThreshold
        {
            set { sp1.ReceivedBytesThreshold =
value; }
            get { return
sp1.ReceivedBytesThreshold; }
        }

        public int Timer_Interval
        {
            set { timer1.Interval = value; }
            get { return timer1.Interval; }
        }
        public bool Timer_Enable
        {
            set { timer1.Enabled = value; }
            get { return timer1.Enabled; }
        }
        /*** Events Methods ***/
        private void sp1_DataReceived(object
sender,SerialDataReceivedEventArgs e)
        {
        }
        private void timer1_Tick(object
sender, EventArgs e)
        {
        }
    }
}
```


All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Abstract

This work shows the master degree research project entitled " Data Acquisition System Design for solar tracking analysis and development ".

It represents designing and implementing a mechanical solar tracking system together with Data Acquisition System (DAQ) for improving efficiency of solar panels .

The **Solar tracker** that has designed, consists of the following components :

- **Mechanical Base** to carry the solar panel.
- **Azimuth pivot** for rotating the solar panel according to Azimuth Angle(β).
- **Altitude pivot** for rotating the solar panel according to Altitude Angle (α).
- **Orientation Motor** for azimuth angle (β).
- **Control and Driving System** (Electronic Circuits and Software).

The **DAQ** that has designed, consists of the following components:

- **Measurement Sensors** and conditioning circuits.
- **Microcontroller ATMega16** with 8-Channel Analog to Digital Converter.
- **Real Time Clock (RTC)** for supplying the time and date Data to Sys.
- **MultiMedia Card (MMC)** for saving data that is acquired by DAQ Sys.

In addition of DAQ, we designed an MMC reader for reading Data from MMC and send them to PC depending on specified communication protocol we has designed else.
I has written The software for control and DAQ and tracking algorithm in C and C# languages.

The important points of this work are summarized here:

1- DAQ system together with tracking system.
2- No need to connect with PC for tracking and data acquisition.
3- The ability of adjusting of tracking algorithm without reprogramming.
4- It works full automatically.
5- It works in two modes tracking and fixed.
6- The data are stored in MMC memory.
7- Using Real Time Clock (RTC) to get on time and date data.

This System is development of fixed system and it has achieved a gain about (28.3%) compared to fixed systems. This result shows the significance of the system proposed.

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Certification

It is hereby certified that work described in this thesis is the result of the candidate's own investigation under the supervision of Dr. Ahmad Rajab Boshnak, professor in electronic engineering department, faculty of electrical and electronic engineering, Aleppo University.

"Candidate" "Supervisor"

Eng. Husam AL-Deen Allito Dr. Ahmad Rajab Boushnak

Declaration

It is hereby I declare that this work, " Data Acquisition System Design for solar tracking analysis and development ", has not already been accepted for any degree nor is it being submitted at present for any other degree.

"Candidate"

Eng. Husam AL-Deen Allito

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit

Aleppo University
Electrical and Electronic Engineering Faculty
Electronic Engineering Department



Data Acquisition System Design for solar tracking analysis and development

Prepared By

Eng. Husam AL-Deen Allito

2010

All Rights Reserved - Library of University of Jordan - Center of Thesis Deposit